

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE DE DEUS

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CICLO DE VIDA DE EQUIPAMENTOS
MÓVEIS EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO BRASILEIRA

CURITIBA

2023

FELIPE DE DEUS

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CICLO DE VIDA DE EQUIPAMENTOS
MÓVEIS EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO BRASILEIRA

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Economia,
no Curso de Pós-Graduação em Economia, no
Setor de Ciências Sociais Aplicadas da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Henrique Moreira
Goes

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Deus, Felipe de

Aplicação da metodologia de ciclo de vida de equipamentos
móveis em uma indústria de mineração brasileira / Felipe de
Deus. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-
Graduação em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Henrique Moreira Goes.

1. Investimentos. 2. Ciclo de vida do produto. 3. Tomada de
decisão. I. Goes, Thiago Henrique Moreira. II. Universidade
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Economia.
III. Título.

Bibliotecária: Maria Lidiane Herculano Graciosa CRB-9/2008



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ECONOMIA -
40001016051P7

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ECONOMIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FELIPE DE DEUS** intitulada: **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CICLO DE VIDA DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS EM UMA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO BRASILEIRA**, sob orientação do Prof. Dr. THIAGO HENRIQUE MOREIRA GOES, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Setembro de 2023.

Assinatura Eletrônica

16/10/2023 20:02:34.0

THIAGO HENRIQUE MOREIRA GOES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

05/10/2023 10:39:38.0

HENRIQUE PORTULHAK

Avaliador Externo (55002269)

Assinatura Eletrônica

05/10/2023 14:09:52.0

ADALTO ACIR ALTHAUS JUNIOR

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AV. PREFEITO LOTHARIO MEISSNER, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4464 - E-mail: ppgecon@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 319985

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 319985

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho,

Aos meus pais, que sempre me apoiaram para me manter focado nos estudos, defendendo a verdade pelos caminhos que trilhei.

À minha esposa, Patricia Cristina Scarabotto, que sempre esteve ao meu lado me incentivando a continuar em frente apesar de todas as empreitadas que a vida acaba nos trazendo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a todos os meus caros colegas de trabalho que me apoiaram na realização prática dos conceitos apresentados aqui. Sem esse time, com toda a certeza, o resultado não teria sido o mesmo.

Em segundo lugar, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Henrique Moreira Goes, pelos ensinamentos e por saber guiar de forma ordenada as ideias durante a realização do estudo.

“Todos sabem o que se pretende dizer quando se usa a palavra ‘sociedade’, ou pelo menos todos pensam saber. A palavra é passada de uma pessoa para outra como uma moeda cujo valor fosse conhecido e cujo conteúdo já não precisasse ser testado. Quando uma pessoa diz ‘sociedade’ e outra a escuta, elas se entendem sem dificuldade. Mas será que realmente nos entendemos?”.

(NORBERT ELIAS, 1994)

RESUMO

A certificação de metodologias, que nos auxilia a lidar com o acompanhamento das preferências de consumo, cumpre um papel essencial na formulação dos modos de operação convencionais. Desta forma, este trabalho faz uma breve análise de gestão da manutenção de equipamentos móveis de mineração, colocando o foco principal em como realizar a aplicação da metodologia de ciclo de vida para equipamentos, a fim de determinar, para os anos subsequentes da empresa, a taxa de investimento em formato de número de equipamento por categoria. Assim, a alta direção da empresa teria uma tomada de decisão mais ágil e, logicamente, com esses valores determinados, seria também uma tomada de decisão mais assertiva, pois não deixaria de lado uma análise financeira robusta como já é rotina na grande maioria das empresas nacionais. Para tanto, o trabalho irá conduzir toda a formulação utilizada para a criação do modelo de metodologia, bem como exemplificar os principais resultados observados entre os anos de 2019 e 2022 em uma indústria de mineração brasileira.

Palavras-chave: Investimento. Ciclo de vida de equipamentos. Tomada de decisão financeira.

ABSTRACT

The certification of methodologies, which helps us monitor the purchasing preferences, carry out an essential role in shaping the conventional ways of operation. Therefore, this study presents a brief analysis of the maintenance mobile mining equipment management, redirecting the primary focus to the life-cycle methodology application into equipment in order to determine, for the company following years, the investment rate in the format of amount of equipment per category. Thus, the company's senior management would have a faster decision-making process and, along with these calculated numbers, the decision-making process would be more assertive, because it would not put aside a solid financial analysis, as it already happens as a routine in most of the national companies. For this purpose, this study will conduct the whole formulation used to create the methodology model, as well as exemplify the main results observed among 2019 and 2022 within a Brazilian mining industry.

Keywords: Investment. Lifecycle of the equipment. Financial decision-making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estimativas de investimentos no setor mineral.....	15
Figura 2 – Representação da Vida Útil e da Vida Econômica de Equipamentos	29
Figura 3 – Custo de Capital de um Equipamento	32
Figura 4 – Ciclo de tomada de decisão para substituição de equipamentos fixos....	36
Figura 5 – Estimativas de custos futuros de uma correia transportadora	37
Figura 6 – Ciclo PDCA	43
Figura 7 – Criticidade Fixa e Variável de Equipamentos	51
Figura 8 – Programação Semanal de Manutenção	52
Figura 9 – Fluxograma geral do processo do relato de caso.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Formação Genérica do CAE para um Ativo	48
Gráfico 2 – Número de Equipamentos a Serem Substituídos Por Ano	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Municípios que possuem atividade de mineração	14
Quadro 2 – Exemplo de Controle de Troca de Equipamentos	50
Quadro 3 – Exemplo de Controle de Troca de Equipamentos	54
Quadro 4 - Resultados Financeiros Comparando Cenário de Reforma e Compra de Equipamento Novo	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Premissas Adotadas para Análise de Ciclo de Vida de Equipamentos...45
-----------------	---

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VB	- Valor bruto do equipamento
TPV	- Taxa de perda de valor
TD	- Taxa de desconto
AI	- Alíquota dos impostos
TDep	- Taxa de depreciação
PIS	- Programas de Integração Social
COFINS	- Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
ICMS.	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
VS	- Valor salvado
CAE	- Custo anual equivalente uniforme
CAEC	- Custo anual equivalente de capital
CAEOM	- Custo anual equivalente de operação e manutenção
IBRAM	- Instituto Brasileiro de Mineração
ANM	- Agência nacional de mineração

LISTA DE SÍMBOLOS

© - copyright

@ - arroba

® - marca registrada

Σ - somatório de números

Π - produtório de números

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	MODELO DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA.....	20
2.2	VIDA ÚTIL E VIDA ECONÔMICA DE EQUIPAMENTOS	25
2.3	CUSTO DE CAPITAL E CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	30
2.4	METODOLOGIA DO CUSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE	33
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA METODOLOGIA.....	38
3.2	ASPECTOS ESPECÍFICOS DE UMA ANÁLISE DE ATIVOS	40
3.3	COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	42
3.4	DEFINIÇÃO DO PROCESSO DE CICLO DE VIDA	44
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	49
4.1	GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE MINERAÇÃO.....	51
4.2	PREVISIBILIDADE DE TROCA DE ATIVOS.....	53
4.3	ACOMPANHAMENTO APÓS SUBSTITUIÇÃO DO ATIVO	54
4.4	RELATÓRIO DE CASO.....	56
4.5	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	58
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE.....	70

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Amaral (2015), define-se mineração como sendo a extração, elaboração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural: sólido, como o carvão e outros; líquido, como o petróleo bruto; e gasoso como o gás natural. Nesta acepção mais abrangente, inclui a exploração de minas subterrâneas e de superfície (ditas de céu aberto), as pedreiras e os poços, incluindo-se aí todas as atividades complementares para preparar e beneficiar minérios em geral, na condição de torná-los comercializáveis, sem provocar alteração, em caráter irreversível, na sua condição primária

O Brasil é considerado um dos países com maior potencial mineral do mundo, produzindo aproximadamente 70 substâncias minerais (21 dos grupos de materiais não metálicos e 45 dos não metálicos e 4 dos energéticos). Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (2022), trata-se de uma atividade bastante diversificada (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2022).

Também de acordo com o departamento, estão localizadas, no Brasil, cerca de 3.354 minas, sendo 159 de grande porte. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2023), há no país mais de 8 empresas mineradoras distribuídas entre as regiões.

O setor mineral representa 4,2% do Produto Interno Bruto do país e cerca de 20% do valor das exportações brasileiras, segundo o Ministério de Minas e Energia (2022). É previsto para o Brasil, por meio do Plano Nacional de Mineração 2030, divulgado pelo mesmo Ministério, que sejam investidos em pesquisa mineral, mineração e transformação mineral, cerca de US\$ 270 bilhões até o ano de 2030.

No ano de 2011, segundo o IBRAM (2022), o Brasil alcançou seu melhor índice, produzindo cerca de US\$ 50 bilhões. Atualmente, o país é o maior exportador mundial de ferro e nióbio e o segundo maior de manganês e bauxita, de acordo com dados do DNPM (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL).

Desta forma vale reforçar a grande distribuição de iniciativas de mineração em todo o território brasileiro, em que existe, segundo a ANM (Agência Nacional de Mineração) e apresentado no relatório de resultados do segundo trimestre de 2022 da IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), mais de 2500 cidades que possuem algum tipo de atividade sendo que mais de 450 ficam localizadas apenas em Minas Gerais.

Neste sentido, o Quadro 1 apresenta a distribuição de municípios com atividades de mineração por unidade federativa no Brasil, é possível observar que a atividade de mineração está disseminada por todo o país. Minas Gerais lidera com um total de 485 municípios engajados nessa atividade crucial para sua economia. São Paulo e Rio Grande do Sul também demonstram uma presença significativa, com 339 e 210 municípios respectivamente, indicando a diversificação geográfica da mineração. Estados como Santa Catarina, Bahia, Paraná, Goiás, Mato Grosso e outros também contribuem para o panorama, cada um com sua parcela de municípios envolvidos. Curiosamente, estados não tradicionalmente associados à mineração, como Ceará e Rio de Janeiro, ainda contam com 84 e 68 municípios participantes, ressaltando a abrangência da atividade. Em contraste, estados com grande potencial mineral, como Pará e Espírito Santo, têm 64 e 63 municípios, respectivamente, indicando a concentração em certas áreas. Somando-se a participação de outros estados não mencionados, o total de municípios com atividade de mineração no Brasil atinge 2.535, evidenciando o impacto amplo e variado dessa indústria em nível nacional.

Quadro 1 – Municípios que possuem atividade de mineração

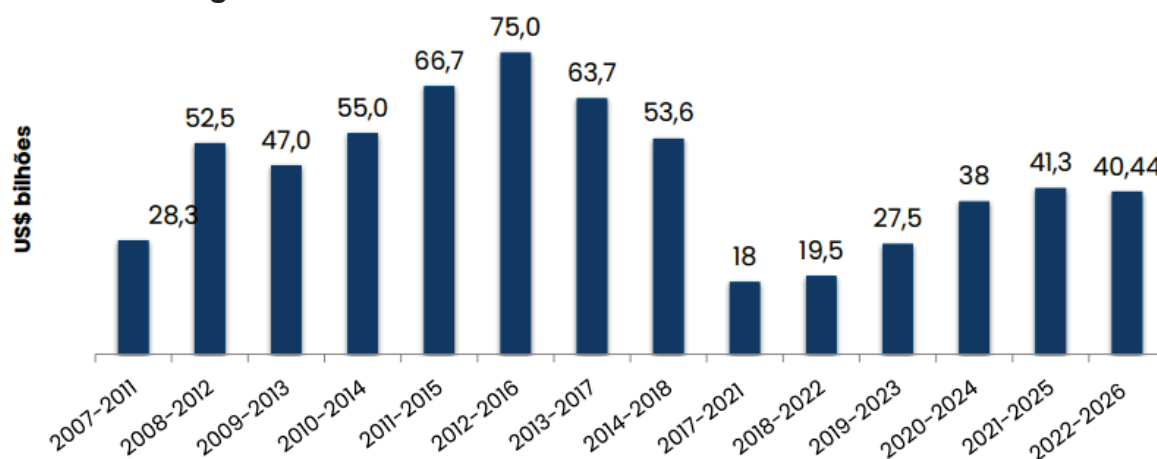
Estado	Número de municípios que possuem atividade de mineração
Minas Gerais	485
São Paulo	339
Rio Grande do Sul	210
Santa Catarina	186
Bahia	173
Paraná	175
Goiás	137
Mato Grosso	86
Ceará	84
Rio de Janeiro	68
Pará	64
Espírito Santo	63
Outros	465
Total	2535

Fonte: ANM / elaboração IBRAM (2022).

A presença significativa da atividade de mineração em muitas cidades ressalta a demanda urgente por investimentos tanto na própria indústria quanto nas localidades afetadas. A necessidade de tais investimentos se torna evidente em

todas as empresas do setor, dada a expansão e complexidade das operações. Consequentemente, é imperativo considerar a criação de estratégias de desenvolvimento sustentável que não apenas fortaleçam o setor, mas também beneficiem as comunidades envolvidas. Em consonância com essa necessidade, a Associação Brasileira de Mineração (IBRAM) revelou, em seu relatório trimestral de 2022, que os anos subsequentes projetam um aumento contínuo nos valores absolutos de projetos planejados, conforme ilustrado na Figura 1. Esse cenário ressalta a importância da colaboração entre as empresas de mineração, governos locais e outras partes interessadas na busca por investimentos que promovam o crescimento sustentável e o bem-estar tanto do setor quanto das comunidades impactadas.

Figura 1 – Estimativas de investimentos no setor mineral



Fonte: IBRAM 2T2022 P.37

É fundamental destacar que a indústria de mineração tem experimentado um progresso contínuo ao longo do tempo, resultando em um aumento substancial nos investimentos direcionados à renovação de equipamentos móveis nas diversas instalações do setor (conforme indicado pelo relatório da IBRAM em 2022). Esse incremento notável evidencia a importância de implementar uma série de procedimentos de manutenção abrangentes, com o objetivo primordial de prolongar a vida útil desses equipamentos cruciais. A medida se mostra indispensável para garantir que esses ativos operem em condições ideais, minimizando interrupções e otimizando o desempenho operacional. Ademais, esse enfoque na renovação e manutenção não apenas atende à demanda por maior eficiência, mas também desempenha um papel crítico na redução dos custos operacionais associados à

substituição precoce de equipamentos desgastados. Segundo Deloitte (2023) a área de mineração tem a necessidade premente de canalizar recursos para estratégias que visem à modernização constante, visando maximizar seu valor a longo prazo e contribuir para um setor mais resiliente e sustentável.

Em linha com o gráfico apresentado anteriormente da tendência de investimentos, as empresas devem realizar análises e pesquisas sobre processos e novas tecnologias.

Segundo o relatório da Deloitte (2023) Inovação, apesar de não ser uma nova tendência, continua sendo um imperativo. A inovação tecnológica pode reduzir os custos, perigos e impactos ambientais associados à mineração de depósitos cada vez mais profundos, ajudando a garantir que as operações permaneçam lucrativas e sustentáveis ao longo do tempo. Nesse contexto, a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida tem ganhado aceitação crescente nos países desenvolvidos como uma ferramenta abrangente e objetiva para a avaliação do desempenho ambiental.

Segundo Willers (2013) a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que visa avaliar o impacto ambiental completo de um produto, processo ou atividade, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Ela considera todas as etapas do ciclo, incluindo produção, transporte, uso e disposição, e analisa aspectos como consumo de recursos naturais, emissões de poluentes e geração de resíduos. A ACV busca quantificar os impactos ambientais em diversas categorias, como emissões de gases de efeito estufa, consumo de energia, uso de água, entre outros. Essa abordagem holística permite tomar decisões informadas para melhorar a eficiência e reduzir o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida do produto ou processo.

É evidente que as indústrias estão se adaptando a esses novos padrões, reconhecendo que a permanência competitiva no mercado está intrinsecamente ligada à capacidade de fornecer produtos com reduzido impacto ambiental. Nesse cenário, a necessidade de avaliar o desempenho ambiental se torna crucial, e abordagens que permitem uma análise completa e objetiva do impacto ambiental têm ganhado aceitação notável, especialmente em países desenvolvidos.

Os recentes progressos alcançados por algumas empresas na adoção da Avaliação do Ciclo de Vida do Produto (ACV) e a publicação da NBR ISO 14040, vêm levando diversas empresas brasileiras a buscar esta nova forma de entender a

gestão ambiental, visando efetivar seus compromissos com a sustentabilidade(BLENGINI et al., 2012, p.177).

Em linha com o exposto anteriormente, este trabalho possui como pergunta de pesquisa "como ocorre a aplicação da metodologia de ciclo de vida financeiro de equipamentos móveis em uma indústria de mineração brasileira para substituição dos ativos".

Para responder a esta pergunta, o objetivo da pesquisa é propor um o processo de aplicação do modelo de análise do ciclo de vida para equipamentos móveis em processo contínuo de aplicação de ativos.

Portanto, para atender a este objetivo e responder a pergunta de pesquisa estabelecida, este trabalho está dividido da seguinte maneira: a primeira parte consiste nesta introdução e na justificativa da pesquisa, seguindo para uma breve revisão bibliográfica, matérias e métodos contemplando as características da metodologia, coleta de dados, definição do processo e por fim seguindo aos resultados encontrados onde se dividi na parte de gestão de manutenção, previsibilidade de substituição de equipamentos e o relato de caso da aplicação em uma empresa e finalizando o trabalho com as considerações finais.

1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização de um embasamento teórico para realização de tomadas de decisão dentro de grandes conglomerados gera maior agilidade na disseminação de conhecimento e aumenta a chance de sucesso em investimentos de risco, visto que proporciona mais pontos de visibilidade durante a tomada de decisão. Outro ponto é que se torna possível gerar oportunidades de estudos que vão além do já apresentado e com isso montar um modelo financeiro ainda mais eficiente para futuras aplicações.

Sobre o tema deste trabalho observa-se nas pesquisas publicadas no Brasil apenas definições de análises financeiras para projetos únicos. Tendo a necessidade de reabertura de análise a cada final de projeto e não tendo uma proposta de processo contínuo dentro de uma organização. Um exemplo deste tipo de solução está disposta no trabalho feito por Blengin et al. (2012. p.178) e Neto, Teófilo et al (2018), de substituição de uma correia transportadora onde a proposta possuiu um início e final extremamente claros.

Olhando especificamente para dentro da empresa, este trabalho pode alavancar os resultados de disponibilidade de equipamentos e consequentemente aumentar a produtividade dentro da instalação da empresa que irá adotar o modelo, trazendo assim maior resultado financeiro, pois irá possibilitar a troca dos equipamentos no momento mais oportuno para tal além é claro de estabelecer um processo contínuo de análise dos ativos.

Segundo Rattner (2015), o aumento de disponibilidade e produtividade de uma grande indústria acaba impactando a economia local, pois existirá a substituição de equipamentos de maneira uniforme ao longo dos anos, ou seja, os fornecedores locais se adequaram a novas realidades de maneira mais suave ao invés de se prepararem para grandes oscilações de mercado partindo que as substituições de grandes maquinários possam ocorrer apenas através de grandes projetos que acontecem de tempos em tempos.

Essa pesquisa poderá trazer benefícios no modelo de gestão da organização, visto que as tomadas de decisão para substituição de equipamentos terão regras mais claras. Como resultado complementar, a pesquisa pode gerar resultados futuros a partir da base de dados criada para aplicar novas metodologias, mais eficientes e baseadas em sua raiz no valor do ativo para a empresa.

No âmbito prático, segundo Cruz (2015) a substituição de equipamentos produtivos está entre as decisões estratégicas e entre as resoluções obrigatórias ao longo da vida das indústrias. Isso ocorre porque a compra de um novo equipamento muitas vezes envolve um custo significativo e pode afetar a produtividade e a competitividade da empresa por vários anos no futuro. E há consequências tanto na substituição prematura de ativos quanto na tardia. Antecipadamente, na recuperação do capital investido, e tardiamente, com os altos custos operacionais e de manutenção, além da depreciação do ativo. Dessa forma, é exercido o estabelecimento de políticas e planos amplos para utilizar os recursos de uma empresa, visando uma melhor sustentação de sua estratégia competitiva a longo prazo.

Após uma análise detalhada das razões que fundamentam a execução deste estudo, a próxima seção que engloba os objetivos intrínsecos à pesquisa. Nesse contexto, os objetivos se dividem em objetivos específicos que visam não somente à obtenção de resultados concretos, mas também à aplicação desses resultados de forma significativa, gerando resultados tangíveis e informando práticas futuras.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral é a análise de um processo de aplicação do modelo de análise do ciclo de vida para equipamentos móveis em processo contínuo de aplicação de ativos.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificar o ano ideal de troca de todos os equipamentos móveis que participarem do estudo.
- Verificar qual o investimento mínimo para o não envelhecimento precoce da frota de equipamento para tomadas de decisão de longo prazo.
- Observar os processos da organização para a implantação deste modelo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será realizada uma breve explanação contendo as características gerais do método de melhorias PDCA, desde sua concepção a sua disseminação entre empresas, vida útil e econômica dos equipamentos, custo de capital e operação, bem como manutenção.

A análise de ciclo de vida é uma abordagem abrangente ajuda na determinação da vida útil e econômica dos equipamentos industriais. Ao considerar esses fatores, esta análise pode fornecer informações para o calcular o custo de operação e manutenção ao longo do tempo, contribuindo assim para a metodologia do custo anual uniforme equivalente.

A vida útil e econômica dos equipamentos está ligada à análise de ciclo de vida. Através do entendimento da vida útil de um equipamento com base em fatores, eficiência operacional e obsolescência, as empresas podem tomar decisões informadas sobre quando é economicamente viável manter ou substituir um equipamento. Isso tem um impacto direto nos custos de capital, uma vez que o investimento inicial em um novo equipamento ou na manutenção de um existente é influenciado por essas considerações.

2.1 MODELO DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A utilização do Ciclo PDCA envolve várias possibilidades, podendo ser utilizado para o estabelecimento de metas de melhoria providas das diretrizes da alta administração, com o objetivo de coordenar esforços de melhoria contínua, enfatizando que cada programa de melhoria deve começar com um planejamento cuidadoso (definir uma meta), resultar em ações efetivas, em comprovação da eficácia das ações, para enfim, obter os resultados da melhoria que garantem a sobrevivência da indústria e poderá ser melhor observado nas observações a seguir. Uma boa definição dessa metodologia é feita por Werkema (2006). Por ser simples e ao mesmo tempo representar o objetivo do seu escopo, é plausível de ser citada: “O Ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização” (WERKEMA, 2006, p.13).

Segundo Schlink (2001), a gestão de custos no desenvolvimento do produto é parte de um processo empresarial de gestão de custos e deve prever todo o ciclo de vida do produto, desde o planejamento do produto (conceituação) até o seu descarte ou reciclagem. Para os autores, a gestão de custos do produto deve ser capaz de planejar os custos do produto em cada fase de sua vida, checar os custos estimados e compará-los com os planejados à medida que o desenvolvimento do produto avança e permitir redução de custos dentro dos limites estabelecidos.

Segundo Barringer (1998) o objetivo da metodologia do Life Cycle Cost (LCC) é determinar o melhor momento, entre diversas alternativas, para descartar o ativo (e substituir por um novo), de forma que o menor custo de propriedade seja atingido no longo prazo.

De acordo com Slack (2008), o aprimoramento contínuo é um processo infundável que se desdobra em um ciclo percorrido de maneira circular, conhecido como Ciclo PDCA. Nesse contexto, a ideia central é a constante interação, representando um princípio fundamental subjacente ao PDCA. Quando uma hipótese é confirmada ou refutada, a repetição do ciclo contribui para uma compreensão mais sólida e concreta da situação. Vale destacar que as hipóteses constituem o cerne do Ciclo PDCA, proporcionando uma base sólida para orientar a melhoria contínua de forma embasada e eficaz. À medida que o ciclo é repetido, o conhecimento se aprofunda e as melhorias se tornam mais coerentes, catalisando o contínuo aprimoramento das atividades e processos organizacionais.

Ao analisar especificamente a utilização do ciclo PDCA para a parte de gestão de custos é observado empiricamente nas empresas o foco em redução de custos operacionais. De acordo com Agostinetti (2006) o ciclo PDCA pode ser considerado um processo circular, pois a partir de um ciclo completo, pode-se encontrar determinada oportunidade de melhoria, estudá-la, melhorá-la e aplicá-la novamente na ferramenta a fim de aprimorar o processo. Este ciclo pode ser iniciado quantas vezes se julgar necessário para que o processo esteja sempre evoluindo e se adequando às novas demandas que é justamente uma forma de agir que se adequa a necessidade de uma avaliação acurada de custos durante a vida de determinado equipamento.

Seguindo a definição de Sartori (2014),

O ciclo começa com o estágio do P (planejar). Esta etapa é caracterizada pela identificação dos problemas, bem como sua observação analítica, descobrindo as causas fundamentais e concebendo um plano de ação, com

o objetivo de bloqueio das mesmas. Elaborado o plano de melhoria, entra a etapa do D (do verbo do fazer). O objetivo deste estágio é bloquear as causas fundamentais, já que é neste momento em que o plano de ação sairá do papel para ser executado por todos os envolvidos. Em sequência, vem o C (de checar), onde as soluções implementadas são avaliadas, verificando se as causas da anomalia foram eliminadas, observando ainda os efeitos colaterais da execução do plano. O processo dá seguimento quando tudo ocorre como o planejado (caso as ações não forem efetivas, o planejamento deve voltar ao seu início). A última etapa e a mais importante é o A (de agir). Durante esta fase, cria-se a padronização daquilo anteriormente regulamentado, expondo a todos os efeitos do trabalho e objetivando as melhorias alcançadas. (SARTORI, 2014, p. 33)

Falconi (1992) apresenta que o ciclo PDCA é desenvolvido de duas maneiras: na forma de “melhoria” e na forma de “manutenção”. Todos os colaboradores empregam intensivamente a manutenção, por serem eles os cumpridores dos procedimentos estabelecidos após a “finalização” do círculo, quando as operações são padronizadas, para seguimento de outro ciclo. Entretanto, a melhoria atua na operação como provedora de eliminação de causas fundamentais, bem como no estabelecimento de novos níveis de controle a partir de novas diretrizes.

Portanto, com o intuito de ampliar a probabilidade de atingir as metas, é aconselhável, de acordo com Falconi (1992), a combinação dos dois tipos de gerenciamento, resultando em um aprimoramento abrangente em todos os níveis da organização. Dessa forma, quando o desfecho do processo é satisfatório, criam-se, então, padrões para haver continuidade na operação. E, uma vez existindo esta continuidade, é imprescindível propor novas metas, visto que cada ponto de melhoria apenas corresponde a um nível que se pretende chegar, assim sendo um progresso contínuo.

Segundo Carvalho (2014) o módulo de planejamento visa obter uma visão integrada da empresa através da análise conjunta da organização com seu ambiente, o mesmo é expresso pela letra P (PLANEJAR). Esse módulo é o início do ciclo, desencadeando todo o processo referente ao ciclo PDCA.

Ou seja, a eficácia futura do ciclo estará baseada em um planejamento bem elaborado e minucioso, o qual proverá dados e informações a todas as etapas restantes do método.

Na fase do PLAN do ciclo do PDCA deve ocorrer o envolvimento de todas as pessoas participantes do ciclo, com o objetivo de procurar meios para melhorar seus negócios, discutindo-se questões como: qual o objetivo específico (meta) a ser

alcançado; quais serão os prazos e recursos despendidos para a efetivação do plano de ação a ser elaborado; quais são os dados a serem coletados durante o processo; enfim, perguntas que envolvem todo um planejamento detalhado do processo a ser executado.

A fase PLAN do ciclo PDCA é subdividido em cinco etapas, as quais são elencadas a seguir, segundo Campos (2004):

- Identificação do problema;
- Estabelecer meta;
- Análise do fenômeno;
- Análise do processo (causas);
- Plano de ação.

No âmbito da identificação do problema, localizar o problema, segundo Campos (2004), é algo realizado todas as vezes que a empresa se deparar com um resultado (efeito) indesejado, provindo de um processo (conjunto de causas). A identificação adequada de qualquer problema, delimitando seu campo de atuação e reconhecendo sua importância (prejuízos) para o processo, e então, sendo detalhado para todos os envolvidos, proporcionará um aumento da eficácia da solução do problema. Portanto, a empresa deve despende um prazo relevante para que o problema possa ser bem definido e esclarecido. O Problema é definido, segundo Campos (2004), como um resultado indesejado de um processo.

Analisando sob o ponto de vista geração do problema, este poderá ser proveniente de atividades da rotina da empresa, cujo resultado não está sendo adequado para os padrões estabelecidos pela organização, outra forma de identificar o problema é no estabelecimento de metas (metas de melhoria), quando a empresa almejar obter um melhoramento em determinado(s) processo(s), é imprescindível que a organização saiba delimitar o mesmo, a fim de equalizar seus recursos internos para que tal problema possa ser passível de solução.

Uma meta sempre deverá ser definida para qualquer produto ou serviço, em quaisquer circunstâncias. Um problema, segundo Campos (1996), será sempre um resultado indesejável de um processo.

Segundo o mesmo autor, o problema sempre será a meta não alcançada, sendo a diferença entre o resultado atual e um valor desejado chamado meta. O

progresso em direção à meta desejada representa o sucesso da empresa no alcance de seus objetivos.

Campos ainda reforça que as metas devem ser sempre estabelecidas nos fins (no produto, na satisfação e segurança das pessoas envolvidas com o processo), e nunca nos meios (no processo), pois no processo não haverá metas, mas sim medidas (ou contramedidas) para as causas dos problemas.

Toda meta a ser definida deverá sempre ser constituída de três partes - objetivo gerencial, prazo e valor - a fim de se obter um conceito completo do termo meta (CAMPOS, 2004).

- A primeira parte dessa meta deverá ser composta pelo objetivo gerencial, o qual irá demonstrar a proposta da meta a ser colocada. Este objetivo gerencial especifica, geralmente por meio de um verbo no infinitivo, a finalidade da meta.
- A segunda parte do termo meta é relativa ao valor. Toda meta deverá possuir um valor, podendo este estar implícito no objetivo gerencial, ou caso contrário, deverá ser explicitado na meta. Esse valor pode ser tanto de ordem absoluta como de ordem percentual.
- A terceira parte integrante do corpo da meta é o fator prazo. Este é fundamental para que haja o cumprimento do objetivo definido. A colocação do prazo, normalmente, é no final do texto da meta.

Exemplo: Em uma empresa de produção de alimentos, o objetivo gerencial pode ser estabelecido da seguinte forma: "Aumentar a produtividade da linha de produção em 15% até o final do ano." Neste caso, o verbo "aumentar" indica a finalidade da meta, temos a referência numérica do quanto deve-se aumentar e por fim temos o prazo até o final do ano para o alcance do valor, que é o aumento da produtividade da linha de produção em 15%.

Tratando-se da origem da meta, essa pode ser derivada de duas vertentes, sendo diferentes em sua concepção, porém possuindo tratamento igual perante o método de melhorias (CAMPOS, 2004).

Tratando-se do desdobramento de metas, segundo Campos (2004), cabe salientar que existem dois métodos para sua execução. Em um primeiro método, “em cada nível, para cada meta, são estabelecidas as medidas prioritárias e suficientes para seu alcance, das quais se originam as novas metas em níveis hierárquicos inferiores” (CAMPOS, 1996). Esse método, segundo Campos (2004), demonstra ser mais simples e fácil de ser implantado, devendo ser utilizado para organizações que estão iniciando nesse processo, pois cada nível hierárquico estabelece suas medidas a partir de suas metas, iniciando-se pela alta administração.

Em um segundo método, “é feito o desdobramento das metas em todos os níveis hierárquicos, para depois ser feito o estabelecimento das medidas em cada nível” (CAMPOS, 1996)

Nesse método, após o desdobramento das metas, os vários níveis gerenciais estabelecem, cada um, as suas medidas, em um processo de análise e também de desdobramento. Durante o processo de estabelecimento das medidas, ocorre uma grande discussão, no sentido de que as medidas sejam ajustadas para se alinharem com as medidas da hierarquia superior e ser compatíveis com outras medidas do mesmo nível hierárquico.

2.2 VIDA ÚTIL E VIDA ECONÔMICA DE EQUIPAMENTOS

As empresas, em geral, segundo Souza e Clemente (2008), orientam-se exclusivamente por aspectos técnicos para a tomada de decisão a respeito da substituição de equipamentos, e assim, acabam tomando decisões equivocadas, o que pode incluir negligenciar considerações financeiras, ignorar fatores de eficiência energética ou falhar em avaliar as implicações ambientais. Principalmente quando se trata de equipamentos de grande porte, os prejuízos podem impactar significativamente o resultado da empresa.

Além dos possíveis prejuízos, as decisões de investimento possuem uma relação profunda com os custos de oportunidade. Segundo Tobin (1999), em muitos problemas de planejamento de despesas de capital, muitas alternativas competem pelo gasto do orçamento de capital, ou seja, decisões equivocadas podem fazer com que as empresas desperdicem boas oportunidades de investimento. Outro aspecto correlato, mencionado por Besanko, Dranove, Shanley e Schaefer (2012) versa

sobre os chamados conflitos de influência no processo de tomada de decisão para grandes investimentos, visto que um setor de uma empresa pode ter maior poder para influenciar a tomada de decisão do que outro o que poderia causar uma má alocação de capital.

Segundo Assaf Neto (2005), a necessidade de avaliar o estado de um bem produtivo é essencial para uma empresa, sendo necessário que isso seja feito periodicamente. Ainda de acordo com o autor, a não consideração dessa avaliação no momento correto pode causar sérios transtornos no funcionamento normal das atividades das empresas, a saber: paradas frequentes de manutenção corretiva, elevação do índice de produtos não conformes, entre outros.

Um artigo que exemplifica este elemento apontado na obra de Assaf Neto (2005) é o trabalho de Rouse e Chiu (2009). Estes autores analisaram a eficiência na manutenção de redes de estradas em 73 Autoridades Locais Territoriais (TLAs) na Nova Zelândia sob a perspectiva do ciclo de vida. Medidas de qualidade, quantidade e custo, juntamente com medidas não discricionárias de fatores ambientais, são incorporadas na Análise de Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis) para avaliar o desempenho de cada TLA em termos de eficiência, efetividade e economia. TLAs que apresentam alto desempenho em todas as três medidas fornecem uma indicação de melhores práticas para a mistura ideal de atividades de manutenção a serem realizadas. Neste estudo, a mistura ideal de despesas é de 59% para manutenção de rotina, 27% para recapeamento e 14% para reabilitação.

Equipamentos e instalações de uma empresa de mineração formam um conjunto cujas partes têm vidas úteis diferentes. Máquinas, equipamentos e instalações móveis geralmente precisam ser substituídos ao longo dos anos, e os custos dessas substituições constituem desembolsos que devem ser incluídos no fluxo de caixa da empresa.

A relação entre fluxo de caixa e investimentos em bens de capital é bastante conceituada na literatura, com ênfase para os trabalhos de Almeida e Campello (2007) e Campello, Graham e Harvey (2010). Tais trabalhos evidenciam o nível de dependência do fluxo de caixa para a realização de investimentos, sobretudo em condições de restrições financeiras específicas da empresa (baixos níveis de tangibilidade, dificuldades financeiras etc.) ou restrições externas (crises macroeconômicas, crise de crédito, guerras, etc.).

O procedimento, muitas vezes adotado por grande parte das empresas, é o estabelecimento de um prazo fixo de vida útil para cada equipamento de valor significativo, seguindo as orientações do fabricante, que por vezes prevê uma troca muito mais rápida que o necessário. Souza e Clemente (2008) reforçam que a utilização de uma análise econômica de equipamentos de qualidade é dificultada pela ausência de dados e informações relevantes, algo que cria uma necessidade de mudança cultural na empresa.

Essa ausência também se dá pelo modelo individualizado adotado por cada empresa diante da quantidade de recursos disponíveis e dos aspectos culturais. Neste sentido, a metodologia do ciclo de vida é aplicável, pois, segundo Bovea, Ibáñez-Forés e Péres-Belis (2017) pode proporcionar análises importantes sobre o ciclo de vida do equipamento para dois cenários de fim de vida diferentes: reparo e reutilização versus substituição. Além disso, é possível evoluir para integrar análises de sustentabilidade no processo.

Ao manter uma visão clara e precisa dos ativos, as organizações podem dimensionar corretamente sua infraestrutura e dinamizar os processos críticos, como: aquisição, planejamento, orçamento, manutenção, operação e descarte. Além disso, uma visão clara e precisa dos ativos também permite que as organizações implementem estratégias eficazes de gerenciamento de ativos. Com informações detalhadas sobre o estado, localização e desempenho dos ativos, as decisões de investimento e manutenção podem ser tomadas de forma mais informada e estratégica. Isso leva a uma alocação mais eficiente de recursos, redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade dos ativos.

Em manutenção, redução de custos não implica em degradação dos serviços, mas sim na integração profunda com a operação e no controle mais adequado da gestão da manutenção. Portanto, caminharão para alcance dos seus objetivos estratégicos e, estarão assim, melhores preparadas para lidar com os constantes desafios de um mercado competitivo na busca pela excelência (NOVACKI et al, 2019).

Existem várias razões que levam uma empresa a substituir um ativo. Elas podem ser sintetizadas em três grupos, conforme apresentados por Casarotto Filho e Kopittke (2010):

- a) Deterioração: Quanto mais se utiliza o ativo, maiores serão os custos operacionais e ainda é observado um aumento da ociosidade de utilização;
- b) Avanço tecnológico: Equipamentos novos por muitas vezes trazem consigo opções operacionais diferenciadas que geram maior produtividade, segurança e agilidade deixando o equipamento antigo chegar à obsolescência;
- c) Inadequação: Aumento ou queda significativa da perspectiva de produção ou mudança da estratégia operacional da empresa por vezes gera a necessidade de realizar a troca do ativo.

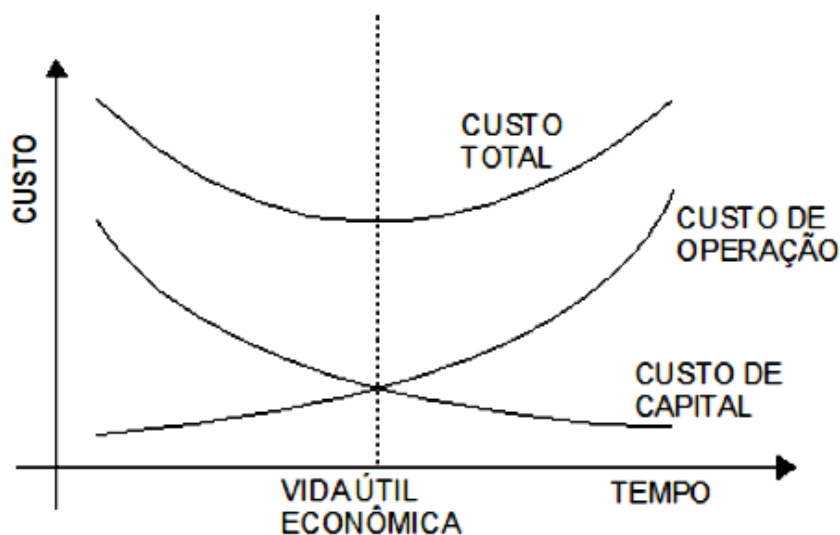
Um dos fatores mais importantes para determinar o momento ideal da substituição de ativos, segundo Vey e Rosa (2003), é determinar qual é o período de vida útil e vida útil econômica. A partir disso, na hora de aplicar o método de análise de substituição, é essencial saber o período de vida útil do bem. Compreender todo o potencial dos ativos requer um entendimento profundo e abrangente de sua vida útil completa. No entanto, problemas relacionados à coleta e qualidade dos dados limitam a eficácia dos métodos disponíveis para o Gerenciamento do Ciclo de Vida de Ativos em fornecer tal compreensão. Nesse sentido, é importante que as organizações foquem também na identificação de impactos ao longo da vida útil, ou seja, tendências ou eventos que podem afetar positiva ou negativamente o restante da vida do ativo (RUITENBURG; BRAAKSMA; VAN DONGEN, 2014). Dessa forma, o entendimento desses conceitos é fundamental para o desenvolvimento de um programa de substituição de equipamentos.

Vida útil, de acordo com Vey e Rosa (2003), refere-se ao tempo máximo de utilização de um bem, ligado diretamente com o esgotamento da capacidade produtiva dele. Neste caso, a substituição do bem acontecerá somente pela incapacidade para a realização da atividade a que se destina.

Por outro lado, segundo Souza e Clemente (2008), a vida útil econômica, ao invés de se referir à capacidade física de produção, faz referência aos custos em que a empresa investe para manter em operação certo equipamento.

Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2010), para fazer o cálculo da vida econômica, deve-se levar em consideração dois custos: o custo de investimento inicial, que visa aumentar a vida útil do bem o máximo possível; e os custos de operação e manutenção, que tendem a encurtar a vida útil do bem, pois são crescentes. Dessa forma, esses autores afirmam que a determinação da vida econômica deve ser baseada em encontrar os custos anuais uniformes equivalentes do ativo para todas as vidas úteis possíveis. Lembrando que o ano no qual este valor é mínimo significa que é a vida econômica do ativo, e esse seria o momento financeiro ideal para realizar a substituição dele. Por exemplo, ao adquirir um novo equipamento de produção, a empresa deve analisar o custo de aquisição e o custo previsto para manutenção regular, como troca de peças e reparos. Ao estimar esses custos, a empresa pode determinar a vida útil econômica do equipamento, ou seja, o período em que os benefícios econômicos do equipamento superam os custos totais de aquisição e manutenção, permitindo tomar decisões informadas sobre a melhor hora para substituí-lo ou realizar grandes reparos. Como pode ser visto na figura 2 apresentada a seguir.

Figura 2 – Representação da Vida Útil e da Vida Econômica de Equipamentos



Fonte: Casarotto Filho e Kopittke, 2010, p. 52.

2.3 CUSTO DE CAPITAL E CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

O custo de capital, segundo Cavender (1999), é o custo do investimento, é aquilo que representa os investimentos na aquisição de equipamentos. Gitman (1987,p.765) afirma que os termos custo de capital e custo de oportunidade são usados indistintamente e representam “a taxa de retorno que uma empresa deve obter em seus investimentos para manter seu valor de mercado inalterado”.

Segundo Pacheco, (2007) temos

Dado instante t_0 e em outro momento futuro t_1 é possível medir a variação no seu valor (monetário/econômico) pelo custo do capital ou custo de oportunidade entre esses dois instantes ($t_1 - t_0$). E, então, obtém-se uma variável quantitativa que é a taxa de juros (taxa de retorno) usada para atribuir o valor do dinheiro no tempo. As taxas de juros determinam o valor futuro do dinheiro e para tanto levam em consideração fatores que fazem o valor do dinheiro diminuir no tempo, como, por exemplo, o risco e a preferência por liquidez.
(Pacheco, 2007, p. 8)

Seguindo a teoria financeira citada em Gropelli (2000) o conceito de que o valor de uma unidade monetária hoje é maior do que o valor dessa unidade monetária amanhã é central para a teoria financeira. O conceito do valor do dinheiro no tempo é fundamental na análise financeira e de investimentos. Ele reconhece que o valor de dinheiro hoje é diferente do valor no futuro devido a fatores como inflação, oportunidades de investimento e risco. O valor do dinheiro no tempo reflete a ideia de que um montante de dinheiro disponível hoje pode ser investido e crescer ao longo do tempo, ou seja, o dinheiro possui um potencial de ganho. Além disso, o valor futuro de um montante também é afetado pelo poder de compra reduzido devido à inflação. Portanto, a compreensão do valor do dinheiro no tempo é crucial para a tomada de decisões financeiras informadas, permitindo avaliar adequadamente os custos, benefícios e riscos associados a investimentos e projetos ao longo do tempo (BERK; DEMARZO, 2014; BREALEY; ALLEN)

Além da conceituação sobre valor do dinheiro no tempo, deve-se apontar que alguns métodos são fundamentais nessa avaliação. A pesquisa de Siziba e Hall (2021) examina a evolução da aplicação de técnicas de orçamento de capital. O estudo destes autores abrange 83 pesquisas sobre as práticas de orçamento de capital em empresas na Índia, África do Sul, Reino Unido e Estados Unidos da América no período de 1966 a 2016. As descobertas mostram que seis técnicas de

orçamento de capital, a saber, o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), o período de retorno - payback (PBP), a taxa de retorno contábil (ARR), o retorno sobre o investimento (ROI) e a valoração de opções reais (ROV), são os métodos mais populares para avaliar investimentos de capital. E dentre esses métodos, os mais utilizados são o VPL e a TIR para decisões relevantes e o payback é considerado como um método auxiliar. Como elemento complementar, o trabalho de Sureka, Kumar, Colombage e Abedin (2022) aponta que os métodos são combinados com algumas teorias proeminentes, tais como: finanças corporativas, processo decisório, conflitos de agência e ciclo de vida.

Já o custo de operação e manutenção é definido por Morgan (1994) como aqueles que ocorrem durante a utilização do produto, por exemplo, os custos de reparos e insumos.

Os custos com reparos e insumos estão diretamente relacionados com a Manutenção Preditiva e deve-se dizer que esta auxilia a manter a confiabilidade e disponibilidade de componentes/equipamentos, além de prevenir paralisações inesperadas durante a produção. Estratégias tradicionais de manutenção geralmente se concentram no diagnóstico preditivo de tipos de falhas, e decisões idênticas de manutenção seriam aplicadas para equipamentos com o mesmo tipo de falha. Isso frequentemente resulta em "supermanutenção", uma vez que as severidades variáveis das falhas podem exigir custos não equivalentes de recursos de manutenção. Desta forma, as empresas têm que pensar outras maneiras e abordagens das manutenções para que não tenham esse processo de overpayments em manutenções (LV; GUO; ZHOU; QIAN; LIU, 2023).

A manutenção preditiva ao prever de forma precisa as necessidades de manutenção com base em dados e análises podem otimizar a alocação de recursos financeiros fazendo uso de tais informações. Isso permite programar intervenções de manutenção, evitando paralisações não planejadas que impactariam negativamente o fluxo de caixa devido a custos inesperados e perda de produtividade.

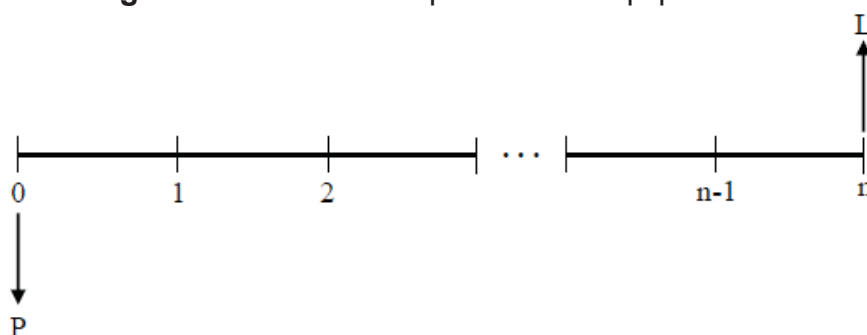
Para Assaf Neto e Silva (1997, p.36), “uma adequada administração dos fluxos de caixa pressupõe a obtenção de resultados positivos para a empresa, devendo ser focalizada como um segmento lucrativo para seus negócios. A melhor capacidade de geração de recursos de caixa promove, entre outros benefícios à empresa, menor necessidade de financiamento dos investimentos em giro, reduzindo seus custos financeiros”.

Sabe-se que o custo anual equivalente uniforme (CAE) pode ser obtido através da soma do custo anual equivalente de capital (CAEC) e do custo anual equivalente de operação e manutenção (CAEOM) (SOUZA; CLEMENTE, 2008).

$$(1) \quad CAE = CAEC + CAEOM$$

A figura 2 faz referência aos fluxos financeiros referentes à aquisição e à alienação de certo bem. O custo total de aquisição, incluindo transporte e instalação, é representado por P, enquanto a receita de venda, ao final de n períodos, é representada por L

Figura 3 – Custo de Capital de um Equipamento



Fonte: Souza e Clemente, 2008, p. 22.

O custo anual equivalente de capital (CAEC) da decisão de manter o referido equipamento por n períodos, a uma taxa de desconto (TD) i para previsões futuras, é:

$$(2) \quad CAEC = \left[P - \frac{L}{(1+i)^n} \right] (A/P, i\%, n)$$

O termo $(A/P, i\%, n)$ é encontrado em tabelas financeiras ou pode ser calculado pela expressão:

$$(3) \quad (A/P, i\%, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Lembrando sempre que para conseguir os valores mais precisos é muito mais vantajoso definir junto à equipe de controladoria quais impostos seriam mais relevantes e como realizar os cálculos do CAEC de forma particionada.

Ainda, é preciso definir uma estratégia para a curva de custos em situações nas quais se analisam o futuro e, para isso, é considerada uma taxa f , na qual as despesas de manutenção e operação, iguais a C no primeiro ano, crescem período a período. O custo anual equivalente de operação e manutenção (CAEOM) pode, então, ser definido como, segundo Souza e Clemente (2008):

$$(4) \quad CAEOM = C \left[\frac{\left(\frac{1+f}{1+i} \right)^n - 1}{f - i} \right] (A/P, i\%, n)$$

Ressalta-se que o termo $(A/P, i\%, n)$ é obtido de forma idêntica à apresentada anteriormente, que os valores realizados no passado devem sempre ser utilizados quando disponíveis e a formulação acima é focada apenas para quando tiver a falta dos dados reais.

Por fim, torna-se necessário observar que a taxa de crescimento do custo de operação e manutenção (f) não pode ser igual à taxa de desconto (TD), evitando, assim, a indeterminação.

2.4 METODOLOGIA DO CUSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE

O Custo Anual Uniforme Equivalente, segundo Duarte et al (2007), consiste em encontrar uma série anual uniforme que represente os fluxos de caixa (tanto receitas quanto despesas) referentes aos investimentos descontados à taxa de desconto (TD), sendo que o melhor projeto seria aquele que tivesse o maior saldo positivo.

Vey e Rosa (2003) afirmam que todos os custos devem ser transformados para custos anuais equivalentes com a aplicação de uma determinada taxa de juro correspondente ao custo de capital sobre o investimento, ou uma taxa de desconto. Dessa forma, o foco é identificar em que ano ocorre o menor custo anual equivalente, determinando, assim, o período ideal de substituição do ativo depreciable.

Para utilizar o método do custo anual uniforme equivalente é necessário obter algumas informações que estarão sob análise, tais como Vey e Rosa (2003) p.153:

- valor do investimento ou de aquisição;
- valor de revenda ou valor residual ao final de cada ano da vida útil do bem;
- os custos operacionais;
- o custo de capital ou a taxa de desconto.

O valor do investimento é um tipo de informação de obtenção relativamente fácil, uma vez que a grande maioria das empresas possui um histórico de valores das compras de ativos relevantes. Porém, quando se tem que encontrar a vida útil econômica de um equipamento que já pertence à empresa, é comum ocorrer dificuldades caso a organização não possua uma prática contábil regular e bem estruturada, ocasionando a indisponibilidade dos dados referentes à aquisição.

A obtenção do valor residual, ao final de cada ano da vida útil do ativo, já pertencente à empresa, porém, também pode ser de difícil mensuração. A solução pode ser obtida através da pesquisa, junto ao mercado especializado, do valor de mercado do bem em questão. Entretanto, apesar de parecer de fácil solução, este problema é extremamente difícil, pois a empresa depende muito da existência de entidades ou órgãos que disponibilizem esses tipos de informações.

Os custos operacionais para cada período dos projetos deverão ser validados levando em consideração as características de operação, tais como: o princípio de funcionamento, as condições de operação, as condições do ambiente onde este equipamento está instalado, entre outras.

O último fator que deve ser considerado é a determinação do custo de capital ou da taxa de desconto, que serão utilizados para transformar os valores do fluxo de caixa em anualidades. Este problema pode ser resolvido se calculado o custo de capital ponderado da empresa ou se for determinado uma taxa de desconto, o que, segundo Vey e Rosa (2003), deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco.

Olhando para as aplicações dentro da bibliografia, pode-se encontrar alguns trabalhos relevantes para esta dissertação. O trabalho de Rouse e Chiu (2009) abordou a perspectiva da manutenção em rodovias da Nova Zelândia utilizando a

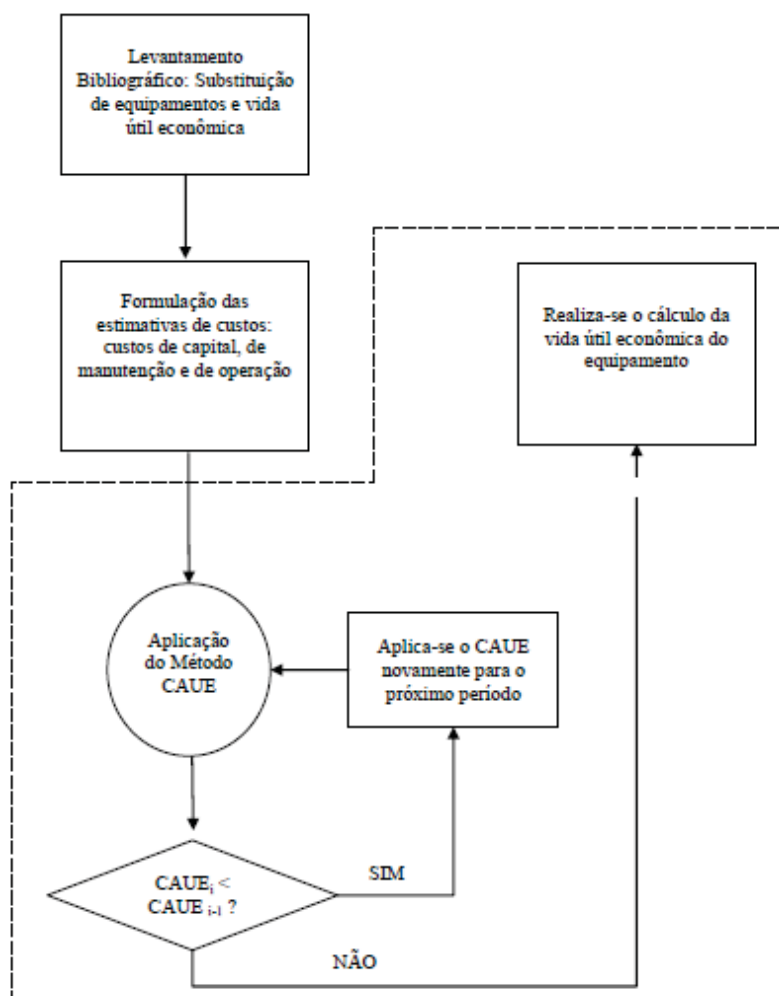
metodologia do Ciclo de Vida e dos custos envolvidos. O desenvolvimento desses autores apresentou um conjunto de quatro fatores impactando na decisão de manutenção e substituição de equipamentos envolvidos no processo produtivo: quantidade (ex.: número de manutenções e tempo entre elas), qualidade das manutenções (ex.: especificações e nível de qualificação envolvido) e custos de manutenção (ex.: recursos monetários necessários).

Além das análises voltadas para o processo de ciclo de vida, o trabalho de Moins, France, Van den Bergh e Audenaert (2020) em que eles abordam de maneira mais detalhada qual seria a metodologia para a realização dessa análise. Para estes autores, um processo de avaliação de manutenção e substituição de equipamentos utilizando a abordagem do ciclo de vida possui cinco etapas lógicas:

- Passo 1 - definição do escopo e do objetivo geral;
- Passo 2 - determinar a performance exigida para os períodos e qual o portfólio de atividades de manutenção e substituição possíveis.
- Passo 3 - estimativa dos custos prováveis.
- Passo 4 - Disposição de uma taxa de desconto.
- Passo 5 - seleção de indicadores econômicos e operacionais
- Passo 6 - análises de sensibilidade para a performance financeira e operacional
- Passo 7 - interpretação dos resultados.

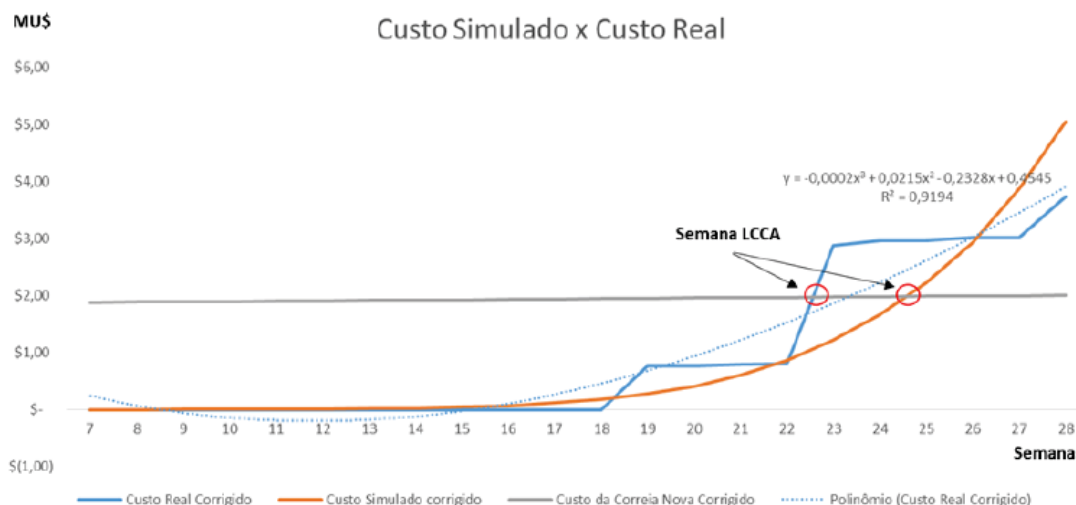
Olhando para aplicações dentro da bibliografia pode-se observar o estudo de Cruzoaldo (2016) em que os autores aplicaram os conceitos para realização de uma substituição de equipamento fixo como projeto de tomada de decisão única como observamos na figura 4 considerando a sigla CAUE como seno custo anual uniforme equivalente.

Figura 4 – Ciclo de tomada de decisão para substituição de equipamentos fixos



Fonte: CRUZOALDO M. R, 2016 p.11

Outra aplicação que se pode encontrar é a de substituição de uma correia transportadora feita por Teófilo (2018) em que o autor utiliza da metodologia como tomadora de decisão e o foco do autor no trabalho foi no desenvolvimento de uma estimativa de custos futuros com um embasamento teórico em simulação de confiabilidade de manutenção como pode-se observar na figura 5.

Figura 5 – Estimativas de custos futuros de uma correia transportadora

Fonte: TEÓFILO C. M, 2018 p.97

Lopes (2019), afirma que no Brasil o sistema de correias transportadoras foi utilizado apenas após a segunda Guerra Mundial, através de mecanização da Vale na mina de Cauê, porém este sistema foi plenamente utilizado apenas no porto da Vale de Tubarão em Vitória no Espírito Santo, na década de 60. A utilização de correias transportadoras para transporte do minério para britagem vem ganhando espaço gradativamente, e esse método de transporte pode ocorrer substituindo parte da frota ou a toda a frota.

As correias transportadoras são compostas de um sistema motorizado que movimenta um tapete que circula por um leito apoiado a roletes e rolos, formando um sistema de fluxo de material que se inicia no carregamento, passa pelo transporte e termina na descarga. (LOPES, 2019, p. 14)

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta etapa são apresentados a forma e o tipo de pesquisa utilizado, tendo como o principal resultado mostrar como foi efetuada a coleta de dados, escolha do tipo de pesquisa e o campo de atuação para o desenvolvimento do mesmo.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA METODOLOGIA

Existem dois tipos que são utilizados largamente no cenário acadêmico, sendo elas:

- Básica: gerar conhecimentos novos;
- Aplicada: gerar conhecimentos e colocá-los em prática.

Realizada através do método estudo de caso, a pesquisa tem natureza exploratória e abordagem qualitativa. Este método é considerado atualmente como um dos delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, em que os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos (GIL, 2010).

Este estudo utiliza uma abordagem de pesquisa exploratória e qualitativa, pois busca conhecimentos sobre a aplicação da metodologia do ciclo de vida de equipamentos moveis em uma indústria de mineração brasileira.

Segundo Santos (2001) a análise de investimento tem como objetivo avaliar as alternativas e escolher a mais atrativa, utilizando métodos qualitativos e quantitativos. Ainda segundo ele, a prévia da avaliação econômica das decisões deve ser considerada como uma atividade indispensável no ramo industrial.

Veras (2001) salienta que a análise de investimentos de expansão compreende não só alternativas entre dois ou mais investimentos a escolher, mas também a análise de um único investimento com a finalidade de avaliar o interesse na implantação do mesmo.

Além das abordagens exploratórias tradicionais, a pesquisa teve um processo de observação participante para a realização de coleta de informações e dados observando as inserções de novas práticas e o contexto de sua ocorrência. As

seguintes sumarizações apontam a importância e o roteiro seguido por uma observação participante.

A observação participante é uma abordagem de pesquisa qualitativa que envolve o pesquisador se tornando ativamente parte do ambiente ou grupo que está sendo estudado. Algumas de suas características incluem (MARCONI; LAKATOS, 2021):

- Participação Ativa: O pesquisador participa ativamente das atividades e interações no campo de estudo.
- Coleta de Dados Contextuais: Os dados são coletados em um ambiente natural, fornecendo um contexto rico para o estudo.
- Interação Direta: O pesquisador interage diretamente com os participantes, o que pode levar a uma compreensão mais profunda das perspectivas e comportamentos.
- Imersão no Campo: O pesquisador se imerge no ambiente por um período prolongado para capturar eventos ao longo do tempo.
- Reflexão e Análise Constantes: O pesquisador reflete sobre suas observações e realiza análises contínuas para identificar padrões e insights.

A aplicação da observação participante em um estudo de caso envolve a seleção de um caso específico, como uma comunidade, organização ou grupo social, onde o pesquisador deseja obter uma compreensão aprofundada. O pesquisador entra no campo, participa ativamente das atividades e interações relacionadas ao caso e coleta dados detalhados por meio de observações diretas, registros de campo e interações com os participantes. A análise dos dados coletados permite ao pesquisador explorar as complexidades do caso, identificar fatores influentes e desenvolver uma compreensão holística do fenômeno em estudo. Isso pode ser particularmente valioso em pesquisas que buscam investigar dinâmicas sociais, culturais ou organizacionais em profundidade (GIL, 2021; YIN, 2015).

3.2 ASPECTOS ESPECÍFICOS DE UMA ANÁLISE DE ATIVOS

Segundo Pereira (2014) um ativo é o bem destinado a manutenção da atividade econômica da empresa, seja na produção de riquezas ou no controle e administração da organização.

Quando se avalia um investimento crucial para manter a funcionalidade da infraestrutura, frequentemente a comparação entre cenários pode se tornar complexa. Isso acontece devido à natureza do investimento, que implica na substituição de um ativo antigo por um novo. No entanto, também há a opção de realizar reformas substanciais no ativo antigo, potencialmente proporcionando um desempenho comparável ao de um ativo novo em um período limitado.

Além disso, outro ponto de possível indecisão é que os métodos tradicionais apontam a melhor decisão para o momento da análise e não nos indicam o melhor momento para a realização desta renovação, o que seria um método mais adequado para este tipo de situação.

Segundo Hastings (2010) a gestão econômica de ativos é uma área que consiste em fornecer recursos e conhecimento para auxiliar no planejamento de aquisições, manutenções e descarte de ativos físicos.

De forma resumida, todos os investimentos devem, necessariamente, seguir uma análise criteriosa de como e onde eles devem ser realizados, levando sempre em consideração as devidas peculiaridades de cada escopo. A partir disso, esse trabalho pretende se aprofundar um pouco mais justamente nos investimentos focados na renovação de ativos antigos através da análise de custos relacionados a cada um deles e sua devida depreciação ao longo do tempo. Segundo Dhillon (2010) A aquisição de um equipamento não deve ser decidida mediante o custo inicial, mas por meio de um estudo sobre a vida econômica útil deste equipamento, que leva em conta as despesas de manutenção e operação.

Segundo Ruitenburg (2014) as perspectivas sobre a vida útil remanescente dos ativos são:

- Perspectiva Tecnológica
 - Relaciona-se com a duração em que o ativo (ou sua produção) continuará em conformidade com as especificações técnicas existentes.

- Conceitos como mecanismos de falha, taxas de falha, tempo médio entre falhas, curvas de banheira e mecanismos de degradação são frequentemente abordados na literatura de Manutenção e Gerenciamento de Ativos.

- Perspectiva Econômica

- Envolve os custos de operação e manutenção de um equipamento.
 - Quando os custos de manutenção aumentam, há maiores gastos em peças de reposição ou disponibilidade de alternativas de baixo custo, a extensão do uso do ativo pode não ser mais economicamente viável.

- A literatura sobre Custos do Ciclo de Vida (LCC) está intimamente ligada a essa perspectiva.

- Perspectiva de Conformidade

- Recebe menos atenção na literatura.
 - Relaciona-se com a "licença para operar" da empresa: o uso do ativo é permitido de acordo com as normas legais e socialmente aceitável?

- Tópicos como sustentabilidade, segurança, condições de trabalho e normas setoriais influenciam a conformidade do ativo.

- Perspectiva Comercial

- Questiona se o ativo (e sua produção) ainda podem atender às demandas do mercado.

- Enquanto a perspectiva técnica avalia a capacidade do ativo de produzir uma quantidade e qualidade de saída predeterminada, a perspectiva comercial se pergunta se essa saída ainda é atraente para os clientes.

- Relacionado ao conceito de obsolescência técnica e à posição competitiva da empresa.

- Salienta que os objetivos estratégicos da empresa devem estar alinhados com o gerenciamento dos ativos que utiliza.

Segundo Wilson (1983) quando se inicia a intenção de utilizar o custo do ciclo de vida objetiva incrementar a visibilidade dos custos totais na realização de um negócio e sinalizar as áreas onde podem ser aperfeiçoadas as aplicações de recursos. O benefício esperado dessa metodologia é a apresentação dos custos totais durante toda a vida de um ativo, o que permite analisar as partes do todo onde a eficácia do custo possa ser aperfeiçoada.

3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Para realização desta pesquisa, o acesso à empresa foi estabelecido entre os anos de 2019 e 2022, onde foi possível coletar informações sobre o processo de gestão da manutenção de equipamentos móveis de mineração, colocando o foco principal em como realizar a aplicação da metodologia de ciclo de vida para equipamento. Os dados foram coletados com base nos documentos de controle interno, e a partir de diálogos com os gerentes e diretores da empresa lembrando que por se tratar de dados por muitas vezes sigilosos de empresas não foi possível a coleta de dados de diferentes empresas.

A coleta de dados foi exclusivamente de uma única empresa isso é um aspecto importante a ser considerado na análise, uma vez que, embora esses dados possam não representar o mercado como um todo, eles mantêm relevância pois retratam informações reais, muitas vezes indisponíveis em outros fóruns, fornecendo uma visão interna e específica das operações e desempenho da referida empresa. Portanto, apesar da limitação em termos de generalização para o mercado mais amplo, os dados obtidos para análises direcionadas e compreensão dos processos.

A empresa sob estudo e os nomes comerciais dos equipamentos foram omitidos no trabalho com o objetivo de manter a discrição dos dados obtidos e avaliados.

Os dados utilizados para elaboração deste trabalho foram obtidos através de fontes oficiais (sistemas, relatórios e planilhas) das áreas de Gestão da empresa. Foram realizados contatos diretos com os responsáveis pelas informações para assegurar a assertividade e confiabilidade dos dados.

Paralelo a essas informações, levando em conta os critérios de classificação de pesquisa descritos em Cervo e Bervian (1996) pode-se classificar igualmente, a pesquisa como de natureza aplicada, cujo principal objetivo é a geração de conhecimento para aplicação prática e imediata, dirigidos à solução de problemas específicos envolvendo os interesses locais, territoriais e regionais. quanto aos procedimentos técnicos, à pesquisa se enquadra como bibliográfica.

A pesquisa bibliográfica procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos. Pode ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental. Em ambos os casos, busca conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas do passado existentes sobre um

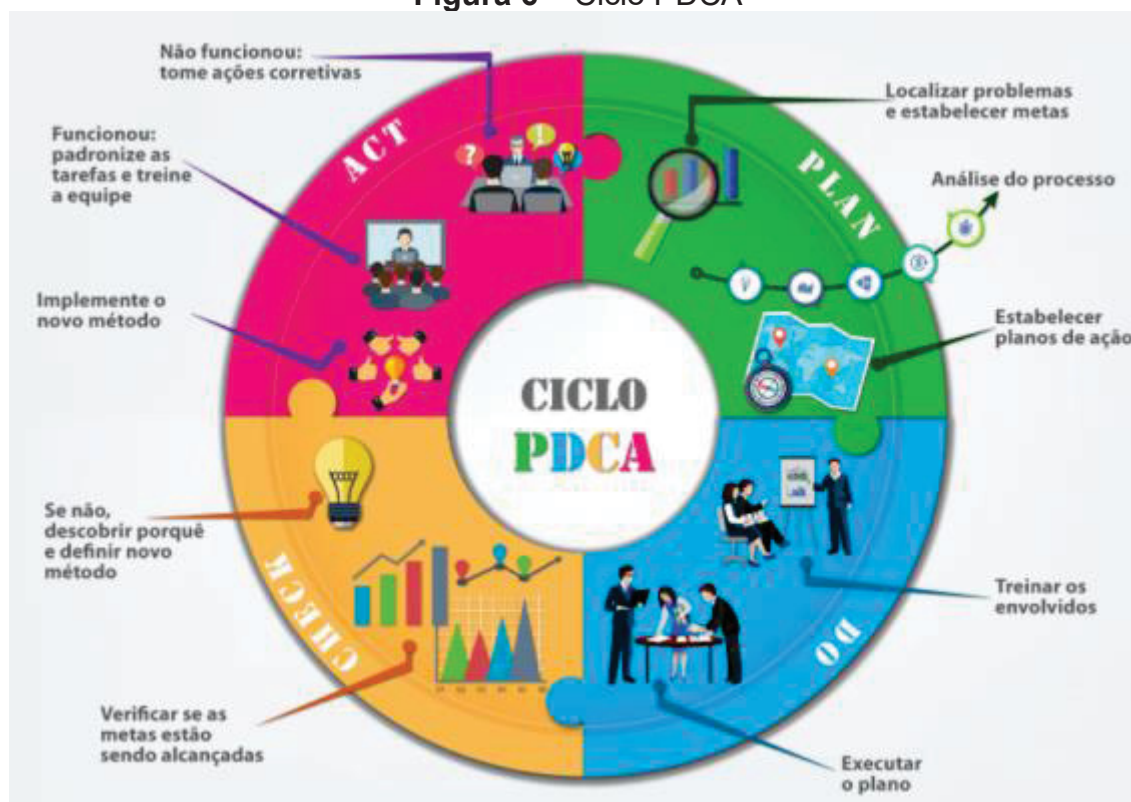
determinado assunto, tema ou problema (CERVO; BERVIAN, 1983, p. 55).

Esta etapa consiste em analisar as diversas literaturas existentes sobre o assunto tais como, artigos, normas, procedimentos e verificar como estes métodos estão sendo aplicados nas indústrias de mineração.

O desenvolvimento deste trabalho se baseou na metodologia PDCA. Para tanto, foram efetuadas as quatro etapas do ciclo (Figura 6). Na primeira etapa, a de planejamento (P), a identificação do problema foi realizada por meio da observação e interpretação de todos os custos de cada ativo individualmente.

Além do levantamento dos valores iniciais investidos para a aquisição de cada um deles, foram definidos quais parâmetros (Tabela 1) seriam levados em consideração para uma análise adequada de depreciação, impostos e valor salvo com o decorrer do tempo. Na sequência, foi criada uma sistemática que resulta na recomendação de troca do ativo em determinado ano. Por fim, foi criado um plano de substituição de equipamentos móveis, tomando como base todo o histórico coletado.

Figura 6 – Ciclo PDCA



Fonte: ZIMMER, 2021, p.15.

A segunda etapa do ciclo se refere ao “executar” (D). Nesta etapa, foi implementado o plano de ação e foi iniciado, junto aos diretores, o processo de defesa do material montado e do plano de substituição de equipamentos. Finalizando essa etapa, iniciou-se a fase de “verificação” (C), avaliando o desempenho das melhorias propostas na etapa do planejamento por meio da comparação de desempenho das novas máquinas, bem como da validação da qual foi a destinação das máquinas desmobilizadas. A última etapa, “agir” (A), consistiu na revisão dos processos em que a organização apresentou dificuldades de implementação e a padronização dos processos bem-sucedidos, além, é claro, dos registros das lições apreendidas durante o processo.

Os custos dos ativos foram coletados pelas unidades produtoras e o monitoramento dos processos de negociação, compra, entrega e desmobilização foi feito pelo time corporativo.

3.4 DEFINIÇÃO DO PROCESSO DE CICLO DE VIDA

Como já mencionado, o método PDCA consiste em um ciclo de controle da qualidade composto por quatro fases básicas que se repetem ao longo do processo: planejar, executar, verificar e atuar corretivamente. Estas quatro fases do ciclo refletem a filosofia da melhoria contínua, onde o ciclo se mantém promovendo a melhoria contínua e sistemática a fim de consolidar a padronização de práticas (CAMPOS, 2014; MELLO, 2011).

Para uma análise financeira adequada de um ativo, deve-se, necessariamente, estabelecer regras e parâmetros claros, para os quais, neste caso, como ponto de partida a tabela 1 a seguir que são valores utilizados internamente pela empresa na qual o estudo foi aplicado não sendo possível a utilização de múltiplos parâmetros devido a necessidade da utilização de regimentos internos.

É importante lembrar que, para diferentes estudos ou empresas, os valores adotados podem ser outros, visto que cada empresa possui seu perfil de análise de investimentos e que isso implica diretamente nos valores aqui adotados.

Tabela 1 – Premissas Adotadas para Análise de Ciclo de Vida de Equipamentos

Descrição	Valores utilizados
Valor bruto do equipamento (VB)	Valor de aquisição presente na nota fiscal
Taxa de perda de valor (TPV)	30%
Taxa de desconto (TD)	7,88%
Alíquota dos impostos (AI)	34%
Taxa de depreciação (TDep)	10%
PIS e COFINS	9,25%
ICMS	18%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A taxa de perda de valor (TPV) foi definida após estudo interno da empresa onde foi observado uma queda do valor de venda do ativo novo a cada ano de operação. A taxa de desconto (TD) é frequentemente considerada sinônimo da taxa de atratividade em contextos de análise de investimentos. Essa taxa desempenha um papel fundamental ao determinar o quão atrativo um projeto de investimento é. Em outras palavras, a taxa de desconto é a taxa mínima de retorno que um investimento deve gerar para ser considerado atraente.

Com as premissas claramente estabelecidas se dá início ao processo racional pelo modelo adotado pela organização. É preciso dois fatores primordiais para esta análise: o primeiro é o valor do ativo com o passar dos anos e o segundo seria o valor monetário aplicado no ativo para sua manutenção.

Dessa forma, deve-se primeiramente focar na linha de cálculo envolvendo o valor do ativo, na qual, necessariamente, deve-se começar efetuando o cálculo do valor salvado (VS) ano após ano, seguindo a formulação abaixo e lembrando que o valor salvado sempre será um valor bruto aproximado relativo a uma possível venda ao mercado após a desmobilização. Vale ressaltar, ainda, que o valor salvado e o valor bruto do equipamento no ano zero são iguais.

$$(5) \quad \text{Valor salvado}_{\text{Ano}} = \text{VB}_{\text{Ano}-1} * (1 - \text{TPV})$$

A partir disso, segue-se para o cálculo do valor de custo de oportunidade que deve ser levado em consideração, pois a pesquisa está analisando um investimento de substituição e, assim, torna-se possível incluir no modelo uma variável que acrescenta valor ao equipamento já existente.

$$(6) \quad \text{Valor do custo de Oportunidade}_{\text{Ano}} = (VS_{\text{Ano}-1} * TD)$$

Para fim de cálculo dos valores recuperados provenientes de tributos, foi dotado que este retorno sempre irá ocorrer nos quatro primeiros anos do ativo, considerando que a maior parte dele acontece em seu primeiro ano, seguindo a fórmula sete, e para o segundo ao quarto ano segue-se a fórmula oito.

$$(7) \quad \text{Recuperação de tributos}_1 = \text{PISeCOFINS} * VB + (VB * ICMS) / 4$$

$$(8) \quad \text{Recuperação de tributos}_n = (VB * ICMS) / 4$$

Nesta linha também se calculam os benefícios fiscais em cada ano que o ativo se deprecia. Para isso, definiu-se que o ativo irá depreciar totalmente no prazo de dez anos, ou seja, entende-se que os benefícios fiscais provenientes da depreciação devem ser utilizados nos primeiros dez anos do equipamento e sempre através de parcelas fixas calculadas pela formulação abaixo.

$$(9) \quad \text{Benefício fiscal anual} = VB * (1 - \text{PISeCOFINS} - ICMS) * AI * TDep$$

Diante de todos esses pontos colocados é feita a somatória dos itens calculados e é possível obter o custo de capital total por ano, inclusive para anos futuros, sempre lembrando que, após esta somatória, o valor deve ser, necessariamente, trazido para o valor presente líquido, assim o modelo proporciona um fator comparativo real entre os anos. Outro ponto de atenção é que no ano zero, além dos itens calculados, tem-se também o valor desembolsado para a compra do equipamento que deve ser acrescido exclusivamente no ano um do modelo. Finalizando a frente dos valores que envolvem o custo de capital do ativo, realiza-se apenas o cálculo acumulado ano após ano.

$$(10) \quad \frac{\text{ACUMULADO DO VALOR PRESENTE DO CUSTO ANUAL DE CAPITAL}}{\text{DO CUSTO ANUAL DE CAPITAL}} = \sum_{\text{ano}=1}^{\text{ano}=\text{atual}} \frac{\text{VALOR PRESENTE DO CUSTO ANUAL DE CAPITAL}}{\text{CUSTO ANUAL DE CAPITAL}}$$

A partir de agora é serão analisados os itens voltados aos custos de manutenção. Ao contrário dos valores depreciados do ativo que foram encontrados,

a tendência é que os valores de manutenções trazidos para o valor presente líquido aumentem com o passar do tempo, principalmente, devido ao desgaste natural das peças ali aplicadas, bem como às eventuais manutenções corretivas que acabam se tornando extremamente custosas às operações de mineração.

A coleta de dados desempenhou um papel primordial na formação dos valores que compõem a curva relacionada à manutenção dos ativos. A precisão e abrangência dos dados coletados são essenciais para a construção de uma curva confiável e representativa das necessidades de manutenção ao longo do tempo.

Começando por esta linha, deve-se iniciar pela computação dos custos de manutenção de cada ano de forma segregada. Posteriormente, da mesma forma como realizamos os cálculos para chegar ao valor presente do custo anual de capital, devemos fazer para chegar ao valor presente do custo anual de manutenção.

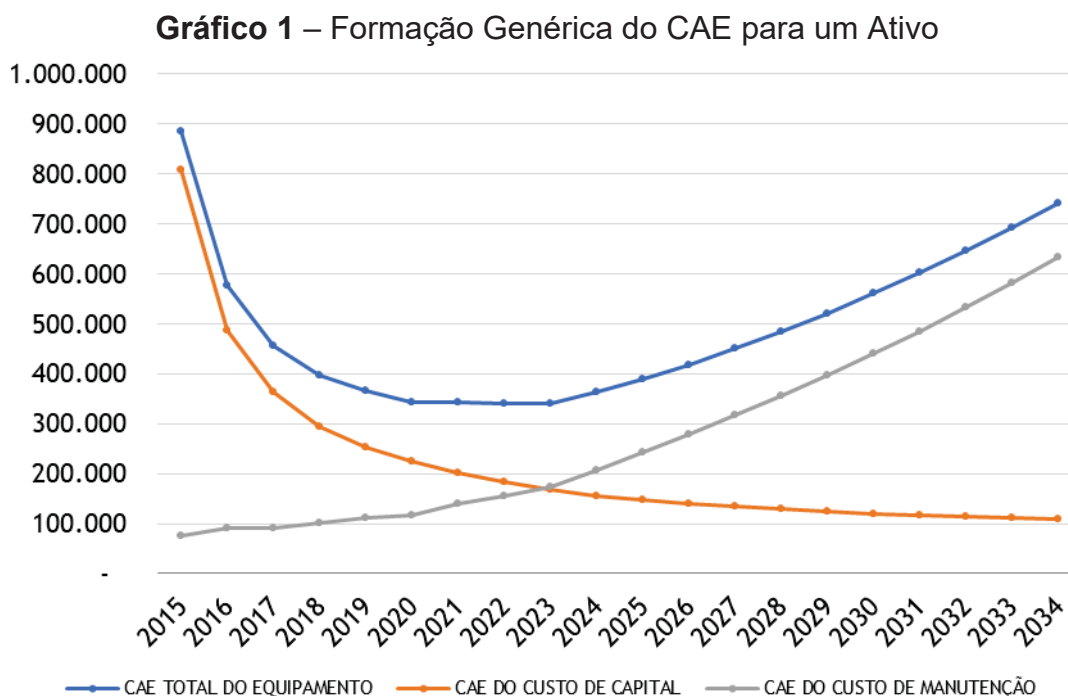
Neste momento existem duas curvas com os valores acumulados do passado. Ambas são de interesse para a tomada de decisão, porém somente este dado não é suficiente para que o processo seja levado à alta direção da empresa, pois precisa-se encontrar uma forma de normalizar tanto os dados do passado quanto os do futuro sob uma mesma métrica. Para tanto, utiliza-se das formulações abaixo a fim de conseguir os custos de operação e manutenção do futuro e o fator do custo anual equivalente (CAE) para ser utilizado tanto nos itens de operação e manutenção quanto nos custos de capital.

$$(11) \quad CAEOM = C \left[\frac{\left(\frac{1+f}{1+i} \right)^n - 1}{f - i} \right] (A/P, i\%, n)$$

$$(12) \quad CAEC = \left[P - \frac{L}{(1+i)^n} \right] (A/P, i\%, n)$$

Vale reforçar que os itens já mensurados, referentes aos valores reais, devem ser multiplicados por $(A/P, i\%, n)$ e, dessa forma, é gerado um banco de dados que utiliza fontes do passado e das previsões para os próximos anos, resultando, assim, nas curvas finais desta análise, as quais podem ser representadas genericamente

pelo gráfico 1. Amostras da sequencia de calculo apresentado também podem ser observados nas planilhas em excel que estão no apendice deste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A análise de custo do ciclo de vida, a disciplina de economia tem um papel fundamental, pois é uma das bases para do cálculo e da análise, levando em consideração do valor do dinheiro no tempo, bem como os indicadores e taxas. Os custos futuros, como os custos de operação e manutenção devem ser descontado para os valores presentes antes adicionar itens de aquisição. O entendimento de alguns termos é importante, como por exemplo aqui mencionado, Custo Anual Equivalente (CAE), uma variante do VAE (Valor anual equivalente). O CAE apresenta um custo anual ao invés de receita anual. Por se tratar de custo, é interpretado como um gasto, Para a definição do tempo ótimo de substituição do ativo, o CAE será o principal indicador para a tomada de decisão, ou seja, o período/ano de operação que possuir o menor CAE, será o período ótimo para a sua substituição.

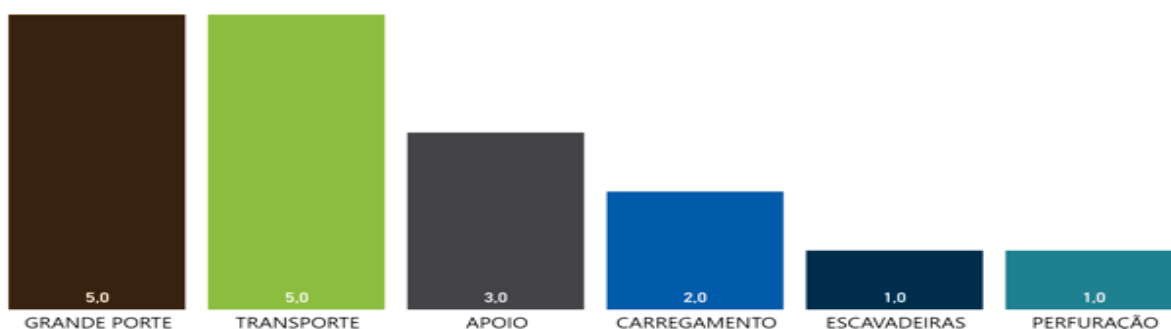
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Como o processo foi aplicado em diferentes unidades com características heterogêneas em relação ao tamanho e aos níveis de complexidade, o primeiro ponto observado como resultado foi um filtro de priorização de troca de equipamentos, pois tem-se hoje uma visibilidade de quais equipamentos estão se aproximando do momento ideal de troca e, assim, as informações podem ser sinalizadas para a empresa ser sinalizado a empresa com um nível de exatidão e rapidez maior que o obtido por meio de análises de investimentos feitas de formas unitárias.

A promoção da visibilidade do momento ideal de troca é uma das principais premissas das teorias relacionadas a análise do ciclo de vida. Desta forma, o trabalho se alinha com pesquisas como Bovea et al. (2017) em que a função da análise do ciclo de vida pode diminuir a chance de decisões de investimento ruins.

Os aspectos apresentados nos parágrafos anteriores e o resgate da teoria apontam que o modelo adotado passou a favorecer a agilidade do processo de análise da diretoria para conseguir determinar o aumento ou a diminuição da depreciação real dos ativos operacionais. Isso é possível, pois foi feita a divisão do número total de ativos de uma determinada categoria de equipamento pela média, em anos, do tempo de vida econômica encontrado por este trabalho. O resultado está, portanto, em um gráfico semelhante ao apresentado no gráfico 2 onde é feita a totalização de quantidade de ativos a serem adquiridos sob sua própria categoria, sendo apenas os valores ilustrativos visto que os números reais fazem parte de uma informação estratégica e não se torna possível a sua divulgação.

Gráfico 2 – Número de Equipamentos a Serem Substituídos Por Ano



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao utilizar os custos médios vigentes de aquisição para cada uma das categorias mencionadas no Gráfico 2, conforme detalhado no Quadro 2, calcula-se que o montante financeiro necessário para o exemplo citado totaliza R\$45,2 milhões.

Quadro 2 – Exemplo de Controle de Troca de Equipamentos

Categoria	Custo de compra média da categoria (MR\$)	Tempo médio de troca da categoria
Grande porte	R\$ 5,4	8,59 anos
Transporte	R\$ 1,2	8,78 anos
Apoio	R\$ 0,7	9,7 anos
Carregamento	R\$ 1,7	9,9 anos
Escavadeiras	R\$ 2,2	8,75 anos
Perfuração	R\$ 4,5	9,17 anos

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

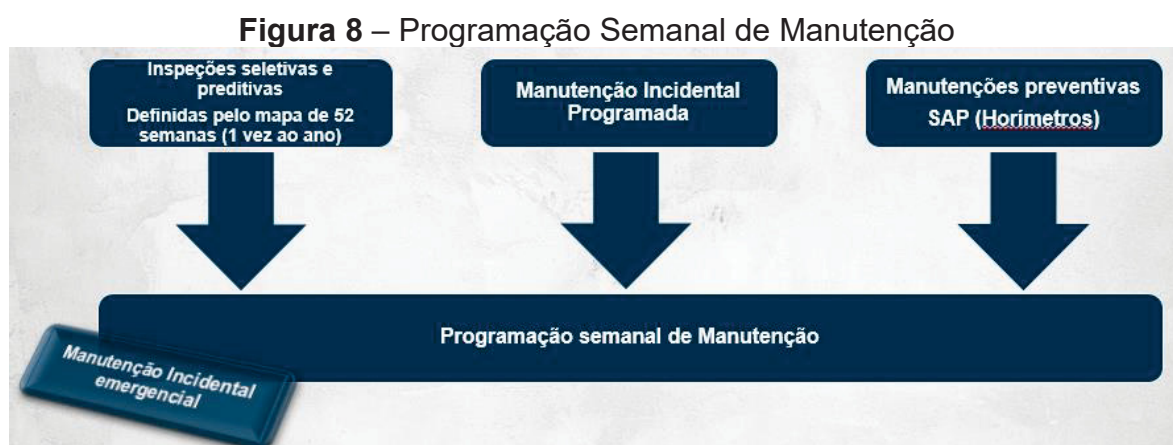
Observe que, caso o investimento da empresa seja menor que o recomendado pelo gráfico 2, entende-se que a empresa irá tomar ações para melhorar seu formato operacional para, assim, por consequência, poder aumentar a vida econômica dos ativos não substituídos. Caso o investimento seja maior que o recomendado pelo gráfico 2, inferiu-se que o posicionamento da empresa está mais voltado para a renovação de sua frota e até mesmo em busca de um aumento de produtividade e avanço tecnológico em seu formato operacional. Ainda existe a possibilidade de executar o investimento idêntico ao recomendado e, nesse caso, tem-se apenas a manutenção do estado atual da frota utilizada focando apenas na substituição de itens essenciais para manter as operações existentes.

Entende-se que os investimentos acabam drenando fluxo de caixa das empresa ou exigindo a captação de recursos de terceiros (Almeida e Campello, 2007), portanto, a possibilidade de previsibilidade para trocas e substituições diminui a fricção financeira causada por esses impactos e passam a exigir apenas recursos previstos e orçados anteriormente atendendo aos preceitos estabelecidos nas regras da análise do ciclo de vida para substituição e manutenção, conforme descrito pelas obras de Vey e Rosa (2003), Ruitenburg et al. (2014), Cruzoaldo (2016) e Neto (2018) em que os autores apontaram que a metodologia do ciclo de vida pode gerar ações menos custosas e menos repentinas. Desta forma, respeita-se também as

máximo as manutenções não programadas e dando um tempo de reação maior. Esse tempo de reação está em linha com os fluxos propostos por Rouse e Chiu (2009) em que o estabelecimento de uma análise de ciclo de vida pode estabelecer um tempo de reação maior e que combine efetividade e eficiência em três elementos: custos, quantidade e qualidade da manutenção.

Desse modo, a organização precisou criar um cronograma anual, de 52 semanas, que previa períodos em que cada equipamento estará disponível para realização de inspeções pela equipe de mecânicos, seguindo o nível de prioridade da matriz acima citada: quanto maior a criticidade na matriz, maior a frequência de realização de inspeções periódicas. O resultado aponta, portanto, para uma programação que esteja de acordo com a mão de obra disponível e com o nível de exigência de cada equipamento.

Ao unir o tema mencionado aos planos de manutenção preventiva, baseados em horímetro, e às manutenções corretivas programadas, é possível criar a programação semanal de manutenção. Nessa programação, a previsibilidade para o próximo ano se restringe às inspeções do calendário de 52 semanas e às grandes manutenções planejadas para o ano.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Além disso, para auxiliar na programação semanal e complementar o gerenciamento das ordens preventivas, foi utilizado quadros de gestão à vista que ficam na sala de operação das unidades de tal forma que é possível o monitoramento em campo do avanço de horas operadas das máquinas e também a realização ou não de determinadas ações preventivas.

4.2 PREVISIBILIDADE DE TROCA DE ATIVOS

O terceiro item que se observa para este trabalho é a facilidade para as unidades operacionais envolvendo o acompanhamento e entendimento do formato utilizado pela empresa na realização de compra de equipamentos novos. Com o projeto finalizado, é possível montar um quadro semelhante ao Quadro 2, o qual indica quais os anos de troca de cada ativo. Assim, a própria unidade conseguiria iniciar o processo de solicitação de um novo equipamento caso o time corporativo já não tenha feito.

A gestão da manutenção é uma área que vem ganhando cada dia mais atenção nas empresas. Com a competitividade mais acirrada, é necessário que todos estejam focados no objetivo da empresa e trabalhem para que ele seja realizado. Para que isso ocorra é primordial que o setor de manutenção tenha um gerenciamento estruturado a partir de um conjunto de práticas de manutenção bem definidas, sólidas e disseminadas por toda a área, assegurando resultados e metas, bem como, o controle e troca de equipamentos (VAZ, 2018).

Um exemplo possível em linha com o parágrafo anterior é de uma fábrica de automóveis que deseja manter sua linha de produção funcionando de forma eficiente para atender à crescente demanda do mercado. A gestão da manutenção desempenha um papel crucial nesse cenário. A empresa implementa um conjunto de práticas de manutenção que incluem inspeções regulares, manutenção preventiva e corretiva. Por exemplo, um robô usado para soldagem na linha de produção é monitorado regularmente para detectar qualquer desgaste ou falha iminente. Se for identificado que o robô está apresentando sinais de desgaste, ele é substituído por um novo antes que ocorra uma falha que possa interromper a produção. Isso assegura que a produção seja contínua e que os objetivos da empresa sejam alcançados. A gestão eficiente da manutenção contribui para a confiabilidade dos equipamentos, evitando paradas não programadas e otimizando a produção.

Quadro 3 – Exemplo de Controle de Troca de Equipamentos

TAG	DESCRIÇÃO	IDADE DO EQUIPAMENTO	ANO RECOMENDADO DE TROCA	Custo de compra estimado
CA-02	CARREGADEIRA CA-02	10	2021	R\$ 1,5M
CA-03	CARREGADEIRA CA-03	7	2023	R\$ 1,8M
CA-04	CARREGADEIRA CA-04	6	2032	R\$ 2,96M
EH-03	ESCAVADEIRA HIDRAULICA EH-03	12	2020	R\$ 1,3M
EH-04	ESCAVADEIRA HIDRAULICA EH-04	9	2028	R\$ 2,02M
EH-06	ESCAVADEIRA HIDRAULICA EH-06	11	2025	R\$ 1,71M
EH-07	ESCAVADEIRA HIDRAULICA EH-07	8	2022	R\$ 2,2M
TE-02	TRATOR ESTEIRAS TE-02	11	2024	R\$ 2,46M

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para a construção dos valores monetários no quadro, foram adotadas duas abordagens distintas: em relação aos itens adquiridos anteriormente a 2023, foram utilizados os valores de compra reais correspondentes. Para os demais itens, a taxa de juros de 5,686% foi empregada como fator de atualização. Esta taxa foi calculada como a média do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) nos últimos cinco anos.

A elaboração de um quadro final para a substituição dos ativos está em linha com proposições de Moins et al. (2020), visto que ele é resultado do conjunto de passos da Análise do Ciclo de Vida em que são determinados os períodos necessários para as atividades de manutenção e reposição de equipamentos. Decorre após a análise das características dos ativos, das taxas de desconto envolvidas e dos custos envolvidos no processo decisório. Desta forma, facilita tanto o processo de predição de orçamentos e fluxos de caixa quanto o processo de tomada de decisão por manutenções ou substituições.

4.3 ACOMPANHAMENTO APÓS SUBSTITUIÇÃO DO ATIVO

Uma alternativa adicional para validar o modelo é a avaliação financeira após o investimento, por meio da comparação direta dos custos de manutenção entre um ativo novo e um ativo que não foi substituído, mas que estava na mesma faixa de

idade de operação do ativo recomendado pela metodologia, tendo em vista a existência de um banco de dados com informações sigilosas da empresa.

Neste cenário foi possível observar um equipamento que seria válido para tal análise que foi substituído durante a execução desta observação: uma perfuratriz hidráulica que foi comprada no ano de 2019. Foram comparados os custos reais de operação dos anos de 2019 até 2022 de ambos os ativos, considerando, para os anos subsequentes, os valores recomendados pelos fabricantes originais da máquina.

Assim, ao compararmos o cenário financeiro entre uma máquina com uma idade superior, que teria recomendação de troca por um ativo novo, mas que necessitou de investimento para revitalização a fim de continuar sua operação conforme a metodologia deste trabalho, e um item que já foi substituído, obtêm-se os resultados a seguir.

Quadro 4 - Resultados Financeiros Comparando Cenário de Reforma e Compra de Equipamento Novo

Resultados Financeiros	Período de 30 anos
Payback (Anos)	4,2
Capex no valor presente (R\$)	4,6M
Taxa Interna de retorno – TIR (%)	27,12
TIRm (%)	14,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A análise dos resultados financeiros ao longo de um período de 30 anos revela informações essenciais sobre o investimento em questão. O período de recuperação do investimento (Payback) é estimado em aproximadamente 4,2 anos, indicando o tempo necessário para o retorno do capital inicial. Além disso, ao considerar o valor presente das despesas de capital (Capex) no montante de R\$4,6 milhões, podemos avaliar o custo presente de todo o investimento. A Taxa Interna de Retorno (TIR) apresenta um índice de 27,12%, o que indica a taxa de retorno projetada ao longo do período de 30 anos. A TIR modificada (TIRm) com valor de 14,6% proporciona uma perspectiva adicional, refletindo a taxa de retorno ajustada para considerar o custo de oportunidade. Esses resultados financeiros fornecem uma visão abrangente da viabilidade e do potencial retorno do investimento, permitindo avaliações informadas e estratégicas.

4.4 RELATO DE CASO

A pesquisa explorara uma abordagem de pesquisa conhecida como observação participante. Segundo Marques (2014) a análise descritiva proveniente dessa metodologia oferece uma compreensão aprofundada e contextual das interações e dinâmicas em determinado ambiente ou contexto. Ao nos inserirmos no cenário de estudo como observadores ativos, a pesquisa ganha a capacidade única de capturar nuances e detalhes que podem passar despercebidos em métodos tradicionais.

O processo de aprovação de projetos de investimento na empresa, que era feito unitariamente, enfrentava uma série de desafios e dificuldades. Cada equipamento proposto para investimento exigia uma análise minuciosa e uma extensa documentação técnica, financeira e operacional. Os dados observados demonstram que os processos individuais de análise resultavam em um fluxo de aprovação complexo e moroso, com várias etapas e aprovações necessárias ao longo do caminho.

Uma das principais dificuldades enfrentadas nesse processo era a falta de uma visão mais ampla dos projetos de investimento. Ao analisar cada equipamento individualmente, a empresa muitas vezes não conseguia capturar os benefícios de uma abordagem mais estratégica. Isso resultava em uma alocação de recursos fragmentada, com decisões baseadas em necessidades imediatas e sem considerar o panorama geral. Os dados corroboram as discussões de Almeida e Campello (2007) e Tobin (1999) sobre os impactos dos dispêndios de recursos de maneira ineficiente e seus riscos.

Além disso, o processo de aprovação unitária muitas vezes levava a uma sobrecarga de trabalho administrativa. Cada equipamento exigia uma preparação detalhada de documentos e uma análise financeira específica, o que consumia tempo e recursos significativos. Além disso, as aprovações em diferentes estágios do fluxo demandavam um esforço considerável, envolvendo múltiplos departamentos e tomadores de decisão.

A falta de uma abordagem estratégica também dificultava a comparação adequada entre diferentes opções de investimento. A análise individualizada tornava difícil identificar sinergias e oportunidades de economia de escala. Essa falta de

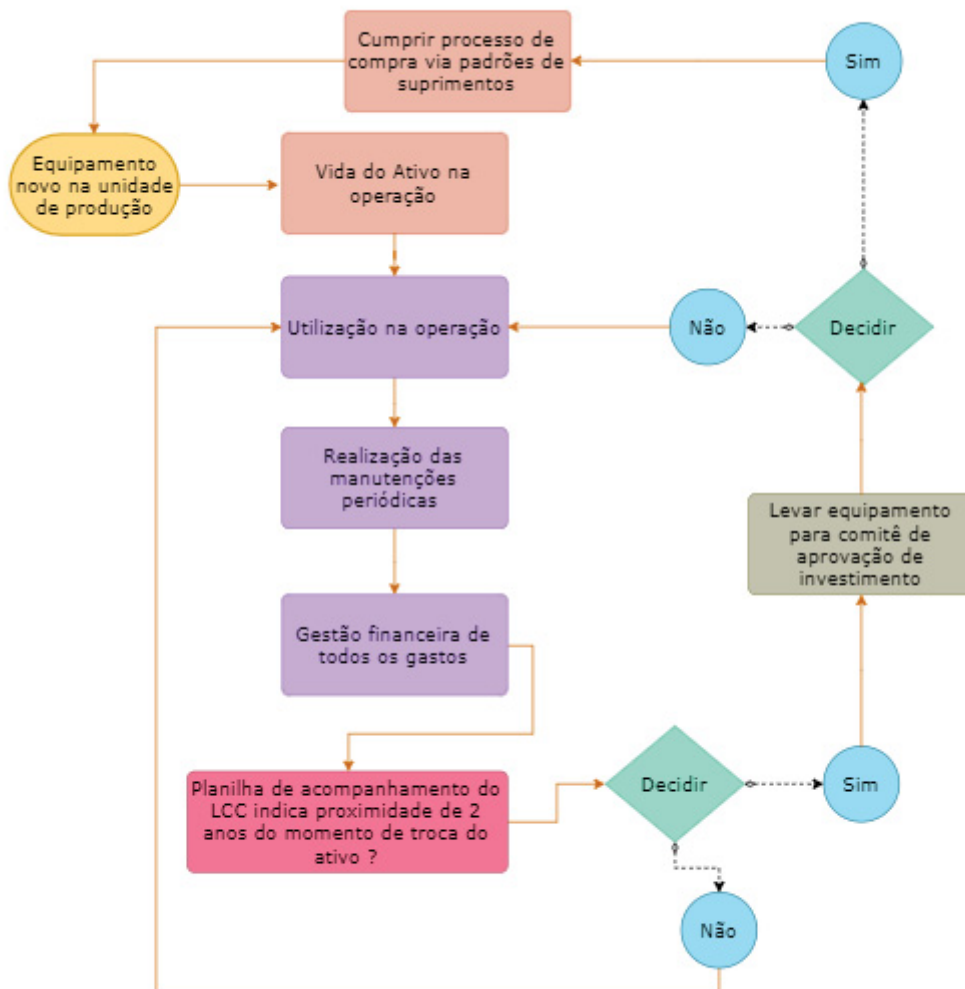
visão ampla prejudicava a capacidade da empresa de tomar decisões informadas e otimizar o uso de seus recursos financeiros.

No entanto, a mudança para a análise de Custo do Ciclo de Vida (LCC), com a tomada de decisão em relação a uma frota inteira, superou essas dificuldades. Ao adotar uma visão mais estratégica, a empresa pode avaliar os projetos de investimento de forma mais abrangente. Isso inclui considerar a interdependência entre os equipamentos, identificar oportunidades de economia de escala e obter benefícios sinérgicos. Portanto, ao modificar para uma visão holística do processo de manutenção e substituição em decorrência do uso da análise do ciclo de vida, a empresa passa a minimizar alguns dos riscos de alocação ineficiente de capital e visão de túnel no processo decisório (BOVEA et al. 2017).

Com a nova abordagem de análise de LCC, o processo de aprovação de projetos tornou-se mais eficiente e menos burocrático. A empresa agora pode tomar decisões mais embasadas, levando em conta não apenas os custos iniciais de aquisição, mas também os custos operacionais, de manutenção e de descarte ao longo da vida útil dos equipamentos. Essa visão abrangente permite uma alocação de recursos mais inteligente e uma melhor compreensão dos impactos financeiros a longo prazo.

Dessa forma, a empresa superou as dificuldades enfrentadas ao aprovar projetos unitariamente e adotou uma abordagem mais estratégica. A análise de LCC para decisões de frota completa tem proporcionado benefícios, incluindo uma redução da carga administrativa, uma alocação mais eficiente de recursos e uma tomada de decisão mais informada em relação aos investimentos.

Através da figura 9 podemos observar um fluxo simplificado que foi criado para representar de forma geral todos os pontos nos quais este relato de caso teve envolvimento e participação na montagem da governança. Um exemplo da planilha de controle pode ser encontrada no apêndice deste trabalho.

Figura 9 – Fluxograma geral do processo do relato de caso

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

4.5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Em resposta aos objetivos aqui propostos no estudo, no âmbito da troca de todos os equipamentos móveis, a ausência de uma política de manutenção gera custos, alguns visíveis e outros não. De acordo com Mirshawka (2013), os custos visíveis correspondem àqueles que se relacionam à mão de obra, ferramentas e instrumentos, material aplicado nos reparos, custo com subcontratação e outros referentes à instalação ocupada pela equipe de manutenção. Os custos invisíveis dizem respeito aos decorrentes da indisponibilidade do equipamento.

Antes de verificar as datas ideais para troca dos equipamentos, através da análise dos autores, é possível evidenciar que o gerenciamento de custo da manutenção é um dos principais desafios a serem enfrentados. Mesmo porque são diversos os tipos de custos sobre os quais se precisam ter informações e controles. Como exemplo, os custos de manutenção por equipamento; custos por família ou grupo de equipamentos; custo por serviço executado; custos gerais de manutenção preventiva, corretiva e preditiva; custos de outros tipos de manutenção; custos de manutenção da grande parada; custos relacionados com reformas, melhorias e modificações e custos de manutenção por instalação.

Contudo, tem-se um custo maior pela indisponibilidade do maquinário, o que leva à conclusão de que o gerenciamento da manutenção é muito mais viável antes de qualquer troca. É categórico afirmar que os custos diretos sejam observados, pois são aqueles gastos diretamente com a manutenção, sendo de fácil identificação. Igualmente são os que a empresa tem de maneira imediata, ou seja, que são pagos diretamente pelo serviço prestado e peças a serem adquiridas.

Segundo Mirshawka (2013), os custos diretos são aqueles relativos ao custo de mão de obra direta, com ferramentas e instrumentos, material aplicado nos reparos, custo com subcontratação e outros referentes à instalação ocupada pela equipe de manutenção.

- Custo de mão de obra do pessoal direto;
- Custo de materiais – peças de reserva;
- Custo de manutenção do próprio material;
- Amortização do equipamento de manutenção;
- Custo de mão de obra do pessoal administrativo ligado à manutenção.

Com o passar do tempo, todas as máquinas sofrem desgastes devido ao seu uso normal. O setor de manutenção industrial é o grande responsável por acompanhar essa degradação dos equipamentos e evitar qualquer tipo de parada nas fábricas. Além disso, a manutenção responde também pela confiabilidade das máquinas e pela vida útil delas na empresa.

Nesse entendimento a empresa não pode deixar de acompanhar a degradação que os equipamentos sofrem ao longo do tempo. Para garantir que durem mais, é preciso conhecer a situação na qual se encontram e qual é a tendência de desgaste, e em caso de problemas, realizar a troca periódica.

Pensando no investimento mínimo para o não envelhecimento precoce da frota de equipamento para tomadas de decisão de longo prazo, é visualizada a manutenção corretiva planejada, isto é, manutenção onde o equipamento opera até falhar. Esta política de manutenção é adotada quando os custos de prevenção da falha sobrepõem-se aos custos de reparo do item, e não há riscos ambientais ou aos operadores, assim como, os custos de oportunidade devido à indisponibilidade não são elevados (MATOS, 2018).

As principais vantagens deste tipo de manutenção estão no fato da utilização total da vida útil do item e o aumento da disponibilidade devido a prolongarem-se os períodos entre as manutenções. Como desvantagens, temos: pequenos riscos a multas e desconforto do pessoal da produção; possível geração de danos maiores em outros itens; necessidade de pessoal disponível para efetuar o restabelecimento operacional do equipamento, do contrário causará indisponibilidade. (MATOS, 2018).

Para Kardek e Nascif (2009, p. 42), “Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.”. Em frotas, as escalas de tempo podem ser definidas em quilometragem, horas de funcionamento ou quantidade de combustível consumido (MATOS, 2018).

Assim, como vantagens, a empresa passa a ter: aumento da confiabilidade, pois a substituição do item desgastado pode evitar falhas drásticas; e aumento da disponibilidade, caso realizada em momentos de não operação. As desvantagens são: substituição de itens antes do fim de sua vida útil; possível inserção de defeitos devido à montagem ou em peças sobressalentes; e quando realizada com elevada dispersão de vida útil dificulta mapear o melhor momento de troca.(MATOS, 2018).

Os aspectos relativos ao ciclo de vida e manutenção preventiva, torna-se importante também apontar como a organização realiza os processos de manutenções detectivas. Essas manutenções, segundo Kardek e Nascif (2009, p. 47), “Manutenção detectiva é a atuação em sistemas de proteção, comando e

controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.”.

Este tipo de manutenção está relacionada aos sistemas de proteção e detecção de anomalias presentes nos equipamentos. Em frotas, muitos são os sensores que efetuam leituras nos sistemas, por exemplo: sensor de pressão de óleo do motor, sensor de pressão do sistema de ar, sensor de temperatura do motor; e todos estes têm objetivo de informar possíveis falhas ocultas visando manter a integridade do equipamento e a confiabilidade do sistema constante.

Portanto, a otimização de processos é um importante passo que as empresas tenham melhor desempenho e sejam mais competitivas. Isso porque o mercado preza pela qualidade dos serviços oferecidos, desde a cadeia produtiva até o produto final.

Além das métricas de acompanhamento, ciclo PDCA, por exemplo, possui como princípio a clareza e a agilidade dos processos, visando melhoria e o controle contínuo de processos e produtos ao detectar problemas, suas causas e propor soluções com ações e metas planejadas (ALVES, 2015).

Para que um sistema de controle da manutenção ser eficiente, são necessárias informações de desempenho sob a forma de índices. Indicadores de manutenção podem mensurar diferentes performances, desde o tempo de parada até o processo produtivo (SILVEIRA, 2018).

Com isso, o processo atual de monitoramento refletiu em maior confiabilidade, disponibilidade e controle de custos de manutenção e em decisões assertivas sobre aquisição de equipamentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a pesquisa realizada, foram abordados objetivos específicos relacionados à aplicação do modelo de análise do ciclo de vida para equipamentos móveis em um processo contínuo de aplicação de ativos na área de mineração. Para atender a esses objetivos, uma abordagem abrangente foi adotada, visando oferecer uma visão geral do tema e fornecer informações relevantes para a tomada de decisões estratégicas de longo prazo.

Foram realizadas investigações detalhadas sobre o ciclo de vida dos equipamentos móveis, considerando sua aquisição, operação, manutenção e substituição. Foram analisados fatores técnicos e econômicos que influenciam a vida útil e o desempenho dos equipamentos, bem como os custos envolvidos em sua manutenção ao longo do tempo.

Foram identificadas ações de manutenção preventiva e corretiva, bem como investimentos mínimos em tecnologia, treinamento e infraestrutura necessários para garantir o desempenho adequado e a vida útil prolongada dos equipamentos.

Para a implantação bem-sucedida do modelo de análise do ciclo de vida dos equipamentos móveis, foram analisados os processos existentes na organização. Isso incluiu a identificação das áreas envolvidas na aquisição, operação, manutenção e substituição dos equipamentos, bem como a compreensão das interações entre essas áreas. Essas informações foram fundamentais para garantir a integração eficiente do novo modelo e identificar possíveis desafios ou ajustes necessários durante a implementação.

No geral, a pesquisa proporcionou uma visão abrangente do modelo de análise do ciclo de vida dos equipamentos móveis. Por meio de uma abordagem que combinando conhecimentos técnicos, econômicos e de gestão de projetos, foram oferecidas informações valiosas para auxiliar nas tomadas de decisão estratégicas e no gerenciamento eficiente dos ativos ao longo do tempo.

Na prática, a aplicação desse modelo permite uma compreensão dos custos ao longo do ciclo de vida dos equipamentos, facilitando tomadas de decisão estratégicas relacionadas à aquisição, substituição e manutenção dos ativos. Isso contribui para a otimização dos recursos e para a redução de custos operacionais. Já para a academia, a pesquisa o campo de estudo ao propor um método abrangente e integrado, proporcionando insights para futuras pesquisas e

promovendo o avanço do conhecimento na área de gestão de ativos e economia aplicada à indústria da mineração brasileira.

Durante a execução deste trabalho, foram encontradas algumas dificuldades e limitações que precisam ser consideradas. Abaixo, estão listados os principais pontos:

- Estudo de caso: Este trabalho foi baseado em um estudo de caso específico, o que limita a generalização dos resultados para outras organizações de mineração. As características únicas do estudo de caso podem influenciar os resultados e impedir a aplicabilidade direta em diferentes contextos e condições.
- Disponibilidade de dados: A coleta de dados relevantes para a análise do ciclo de vida dos equipamentos móveis pode ser desafiadora. A falta de disponibilidade de dados precisos e completos pode limitar a precisão e a abrangência das conclusões obtidas. Além disso, diferentes organizações podem ter sistemas de gerenciamento de dados heterogêneos, dificultando a compilação e a análise de dados consistentes.
- Complexidade dos cálculos: A análise do ciclo de vida dos equipamentos móveis envolve cálculos complexos que consideram diversos fatores, como custos de aquisição, depreciação, manutenção e consumo de combustível ao longo do tempo. A precisão dos resultados depende da disponibilidade de informações detalhadas e da capacidade de modelar adequadamente esses fatores, o que pode ser desafiador e sujeito a estimativas e suposições.
- Variáveis externas: O contexto econômico, tecnológico e regulatório está em constante mudança, o que pode impactar os resultados da análise do ciclo de vida dos equipamentos móveis. As variáveis externas, como flutuações nos preços de combustíveis, taxas de câmbio, políticas ambientais e avanços tecnológicos, podem afetar significativamente as estimativas de custos e benefícios ao longo do tempo.

É importante reconhecer essas limitações e dificuldades ao interpretar os resultados deste trabalho. Apesar dessas restrições, o estudo de caso serve

como base para futuras pesquisas e aplicações práticas no campo da gestão de ativos.

Uma sugestão para pesquisas futuras é o desenvolvimento de modelos que possam sugerir uma curva de gastos futuros com base em dados anteriores para cada modelo de equipamento, eliminando a dependência da expertise da empresa detentora dos equipamentos ou de orçamentos fornecidos pelo fabricante. Esses modelos preditivos, baseados em técnicas avançadas como aprendizado de máquina e análise de séries temporais, possibilitariam uma previsão mais precisa dos custos ao longo do ciclo de vida de cada equipamento. Ao obter informações diretamente dos dados históricos, seria possível otimizar a alocação de recursos, o planejamento de investimentos e a tomada de decisões estratégicas sem depender exclusivamente de conhecimentos especializados internos ou de estimativas fornecidas pelos fabricantes. Essa abordagem ofereceria maior autonomia e confiabilidade na previsão dos custos futuros, contribuindo para a gestão eficiente dos ativos e a otimização dos custos operacionais.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. **O PDCA como ferramenta de gestão da rotina**. Universidade Federal Fluminense. Trabalho apresentado ao Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2015.

AMARAL, F. **Aprenda Mineração de Dados: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

AGOSTINETTO, J. S. **Sistematização do processo de desenvolvimento de produtos, melhoria contínua e desempenho: o caso de uma empresa de autopeças**, 2006. 121p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ANDRADE, F. F. **O método de melhorias PDCA**. 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Construção Civil e Urbana, USP, São Paulo, 2003. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04092003-150859/publico/dissertacao_FABIOFA.pdf>. Acesso em: 21/01/2022

ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005.
BARRINGER, P. E. **Life Cycle Cost and Good Practices**. NPRA Manitenance Conference. EUA, 1998.

BOVEA, María D. **Repair vs. Replacement: selection of the best end-of-life scenario for small household electric and electronic equipment based on life cycle assessment**. DISPONÍVEL EM
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719313970>> acesso 10/08/2023

Carvalho, **Modelo de desenvolvimento de SMDL**. PUC, Brasil. Disponível em <https://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124983_04_cap_05.pdf> acesso 02/11/2022

CAMPOS, V. F. TQC: **Controle da qualidade total no estilo japonês**. 9º. ed. São Paulo: Falconi, 2014.

CASAROTTO, F.N.; KOPITKE, H.B. **Análise de investimentos**: Engenharia econômica, Tomada de decisão, Estratégia empresarial. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CAVENDER, B. **Mineral Production Costs: Analysis and Management**. USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME), 1999.

Cruz V. N. Rattner, **Análise do processo de substituição de equipamentos por meio do método caue em uma mineradora de grande porte**. UFPOP, Brasil. Disponível em <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_208_233_27382.pdf> acesso 02/10/2023

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia Científica: para uso dos estudantes universitários**. 3. ed. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1983.

CRUZOALDO MARIA, R. **Utilização do custo anual uniforme equivalente para o cálculo da vida útil de equipamentos: uma aplicação em células de flotação**. XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção, ABEPRO, João pessoa/PB, 06 de outubro de 2016. Disponível em <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_228_330_29184.pdf>. Acesso em: 25/02/2022

Deloitte. (2023). **Tracking the trends 2023: The indispensable role of mining and metals**. Disponível em <<https://www2.deloitte.com/global/en/Industries/mining-metals/about/tracking-the-trends.html>> Acesso 06/10/2023

DHILLON, B. S. **Life Cycle Costing for Engineers**. EUA, 2010.

DUARTE, C. L. G.; ALMEIDA, S. F.; ALMEIDA, P. L. P. e ROCHA, J. S. **Método do custo anual uniforme equivalente como ferramenta para a substituição de frota**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007. Disponível em <https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr590444_0097.pdf>. Acesso em: 13/03/2022

FALCONI, V. **TQC: Controle de qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1992.

FERREIRA, G. E.; ANDRADE, J. G. **Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração**. In: Tratamento de Minérios. CETEM: Rio de Janeiro, 2010. FREIXO, OSVALDO MAGNO **INCORPORAÇÃO DA GESTÃO DOS CUSTOS DO CICLO DE VIDA AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO DA EMBRAER**. Tese de doutorado da universidade federal de são carlos, 2004

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2010.

GITMAN, L.J. **Princípios de administração financeira**, 3 ed., Harbra, São Paulo, 1987.

GROPELLI, A.A. ; NIKBAKHT, E. **Finance**. 4 ed., pp. 168-172, Barron's Educational Series, Inc. 2000.

HASTINGS, N. A. J. **Physical Asset Management**. Londres, 2010.

Heinrich R., **Produtividade e desenvolvimento**. Fundação Getúlio Vargas, São paulo, Brasil. Disponível em < <https://doi.org/10.1590/S0034-75901967000400002>> acesso 06/10/2023

KARDEK, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 3ª edição rev. e ampl. – Rio de Janeiro – RJ: Qualitymark, 2009.

LOPES, J. R. **Viabilização econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto propelido**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas. Minas Gerais, 2019. 105p.

MATOS, F. F. C. **Gestão de Manutenção de Frotas: Orientada pela Eficácia Funcional**. 1ª edição. Salvador – BA, 2018.

Marques, J. P. (2014). **A “observação participante” na pesquisa de campo em Educação**. Disponível em <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1629542>> Acesso em: 06 out. 2023

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção combate aos custos da não-eficácia a vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 2013.

MORGAN, B. **Cost effective equipment applications zones**. Mine Planning and Equipment Selection. Rotterdam: Balkema, 1994.

NOVACKI, A., ALBERTON, C., ORTEGA, L. F. Proposta de um diagrama de tomada de decisão para a manutenção centrada na confiabilidade, fundamentado na lógica fuzzy. Curitiba, 2019.

PACHECO, José V. de A. **OTIMIZAÇÃO DE FLUXO EM REDES NA GESTÃO FINANCEIRA DO CAIXA: APLICAÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR AGROINDUSTRIAL**, 2007, Dissertação, Universidade Federal de São Carlos, 2007.

Pereira, Bruno G. **DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA MANUTENÇÃO ECONÔMICA DE EQUIPAMENTOS MÓVEIS DE MINERAÇÃO**, 2014, Dissertação, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

ROUSE, P. e CHIU, T. **Towards optimal life cycle management in a road maintenance setting using DEA**. European Journal of Operational Research

Volume 196, Issue 2, 16 July 2009, Pages 672-681, Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221708002944>>. Acesso em 10/08/2023.

RUITENBURG R.J. (Richard) **A multidisciplinary, expert-based approach for the identification of lifetime impacts in Asset Life Cycle Management** Procedia CIRP 22 (2014) 204 – 212 Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114008208>> Acesso 15/08/2023

SCHLINK, H. SCHNEIDER, H. e HOHNE, G. **Cost Planning for Functions and Components in the Design of Engineering Products**. 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Florianópolis, 2001.

SILVA, P. M.; SAROTI, M. M. **A utilização prática do PDCA e das ferramentas da qualidade como provedoras intrínsecas para melhoria contínua nos processos produtivos em uma indústria têxtil**. Revista organização sistêmica, Vol. 6, N. 33, dezembro de 2014. Disponível em <file:///C:/Users/mari_/Downloads/305-Texto%20do%20artigo-1148-1-10-20141216.pdf>. Acesso em: 15/01/2022

SILVEIRA, C. B. **Indicadores de performance da manutenção industrial**. Citisystems, 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2ª Edição, São Paulo: Atlas, 2008.

SOUZA, A; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos técnicas e aplicações**. 6a. Edição. São Paulo: Atlas, 2008.

TEÓFILO C. M. **APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO**

VAZ, José Carlos. Gestão da Manutenção. In: CONTADOR, C.J. (coord) **Gestão de Operações: A Engenharia de Produção à serviço da modernização da empresa**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2018.

VEY, I. H.; ROSA R. M. **Substituição de frota em empresa de transporte municipal de passageiros: um estudo de caso**. IX convenção de contabilidade do Rio Grande do Sul. Gramado, RS. 13 a 15 de agosto de 2003. Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/contabilidade/article/view/150/3532>>. Acesso em: 10/02/2022

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1995.

WILSON, R.M.S. **Cost Control Handbook**. Inglaterra, 1983.

Willers C. D., Rodrigues L. B., Silva C. A. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, Brasil. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000037>>. Acesso em 02/02/2023.

YAQIONG L.v. **Predictive maintenance decision-making for variable faults with non-equivalent costs of fault severities** Este artigo foi publicado no periódico: Advanced Engineering Informatics Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034623001398>> Acesso 08/08/2023

ZIMMER, T.S. **O ciclo do PDCA como ferramenta de gestão ambiental no tratamento de efluente**. 2021. Artigo (Bacharel em Ciências Biológicas) – Curso de graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2021. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/72106/TCC_Taina_Zimmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10/01/2022

APÊNDICE

PREMISSAS INICIAIS	
VALOR BRUTO DO EQUIPAMENTO	R\$ 664.111
VALOR LÍQUIDO DO EQUIPAMENTO	R\$ 483.141
TAXA DE PERDA DE VALOR	30%
TAXA DE DESCONTO	7,88%
ALÍQUOTA DOS IMPOSTOS	34,00%
TAXA DE DEPRECIAÇÃO	10,00%
RECUPERAÇÃO DE TRIBUTOS (PIS/COFINS)	9,25%
RECUPERAÇÃO DE TRIBUTOS (ICMS)	18%

ANO	VALOR SALVADO (Bruto)	PERDA DE VALOR DO ATIVO	VALOR DO CUSTO DE OPORTUNIDADE	RECUPERAÇÃO DE TRIBUTOS (ICMS + PIS)	BENEFÍCIOS FISCAIS EM CADA ANO	CUSTO DE CAPITAL TOTAL POR ANO	VALOR PRESENTE DO CUSTO ANUAL DE CAPITAL NA DATA ZERO	VALOR ACUMULADO DO VALOR PRESENTE DO CUSTO ANUAL DE CAPITAL	CUSTO DE MANUTENÇÃO EM CADA ANO	VPL DO CUSTO DE MANUTENÇÃO EM CADA ANO	VALOR ACUMULADO DO VPL DO CUSTO DE MANUTENÇÃO	FATOR PARA CÁLCULO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE)	CAE DO CUSTO DE MANUTENÇÃO	CAE DO CUSTO DE CAPITAL	CAE TOTAL DO EQUIPAMENTO
0	664.111														
1	464.878	199.233	52.332	91.315	16.427	807.934	748.919	748.919	14.949	13.857	13.857	1,08	14.949	807.934	822.883
2	325.414	139.463	36.632	29.885	16.427	129.784	120.304	869.223	100.204	92.885	106.742	0,56	59.759	408.632	546.391
3	227.790	97.624	25.643	29.885	16.427	76.955	71.354	940.557	90.013	83.438	190.179	0,39	73.636	364.178	437.814
4	159.453	68.337	17.950	29.885	16.427	39.975	37.055	977.613	98.320	91.138	281.317	0,30	84.709	294.374	379.082
5	111.617	47.636	12.565	-	16.427	43.974	40.762	1.018.374	93.275	86.461	367.779	0,25	91.821	254.252	346.074
6	78.132	33.485	8.795	-	16.427	25.854	23.965	1.042.340	164.641	152.615	520.384	0,22	112.160	224.654	336.814
7	54.692	23.440	6.157	-	16.427	13.170	12.208	1.054.547	132.040	122.395	642.788	0,19	122.956	201.719	324.675
8	38.285	16.408	4.310	-	16.427	4.291	3.977	1.058.525	183.743	151.783	794.571	0,17	137.638	183.361	320.999
9	28.799	11.485	3.017	-	16.427	(1.925)	(1.764)	1.056.741	94.714	87.796	882.367	0,16	140.545	168.320	308.865
10	18.759	8.040	2.112	-	16.427	(6.275)	(5.817)	1.050.924	222.208	205.977	1.088.344	0,15	161.319	155.772	317.091
11	13.132	5.628	1.478	-	-	7.106	6.537	1.057.511	239.462	221.971	1.310.315	0,14	182.477	147.271	329.748
12	9.192	3.939	1.035	-	-	4.974	4.611	1.062.122	256.946	238.178	1.548.483	0,13	204.202	140.003	344.265
13	6.435	2.758	724	-	-	3.482	3.228	1.065.350	274.834	254.574	1.803.066	0,13	226.624	133.902	360.525
14	4.504	1.930	507	-	-	2.437	2.259	1.067.609	292.501	271.136	2.074.202	0,12	249.843	128.596	376.440
15	3.153	1.351	355	-	-	1.706	1.582	1.069.190	310.527	287.845	2.362.047	0,12	273.938	123.999	397.937
16	2.207	946	248	-	-	1.194	1.107	1.070.288	328.692	304.683	2.666.730	0,11	288.971	118.993	418.964
17	1.545	662	174	-	-	836	775	1.071.072	345.911	320.644	2.987.374	0,11	324.887	116.483	441.370
18	1.081	463	122	-	-	585	542	1.071.615	363.197	336.667	3.324.041	0,11	351.735	113.393	465.128
19	757	324	85	-	-	410	380	1.071.995	380.543	352.747	3.676.788	0,10	379.556	110.662	490.218
20	530	227	60	-	-	287	266	1.072.280	397.946	368.879	4.045.667	0,10	408.387	109.239	516.626

ANO		Horímetro (Acum)	REALIZADO GRANDES COMP.	FORECAST GRANDES COMP.	REALIZADO PREVENTIVAS	FORECAST PREVENTIVAS	REALIZADO CORRETIVAS	FORECAST CORRETIVAS	REALIZADO PNEUS	FORECAST PNEUS	REALIZADO COMBUSTIVEL	FORECAST COMBUSTIVEL	REALIZADO LUBRIFICANTES	FORECAST LUBRIFICANTES	REALIZADO ALUGUEIS	FORACAST ALUGUEIS	ACUMULADO
1	2014	2705			8.500,00	8.500	1.800	1.800	8.300	8.300		-	4.050	4.050	-	-	22.650
2	2015	4829			8.000,00	8.000	30.500	30.500	27.500	27.500	81.774	81.774	4.050	4.050	-	-	151.824
3	2016	6400			6.800,00	6.800	38.600	38.600	24.700	24.700	60.483	60.483	5.800	5.800	-	-	136.383
4	2017	8454			8.500,00	8.500	44.200	44.200	11.800	11.800	80.339	80.339	4.130	4.130	-	-	148.969
5	2018	10724			10.200,00	10.200	21.000	21.000	18.600	18.600	87.395	87.395	4.130	4.130	-	-	141.325
6	2019	13420	45.000		11.900,00	11.900	52.000	52.000	30.800	30.800	103.796	103.796	5.960	5.960	-	-	249.456
7	2020	13911			16.500,00	16.500	85.000	85.000	30.000	30.000	66.160	66.160	2.400	2.400	-	-	200.060
8	2021	15212,71429			121.869,27	121.869	51.513	51.513	31.043	31.043		39.710		3.960	-	-	248.096
9	2022	16343,03571			14.375,53	14.376	33.582	33.582	23.686	23.686	17.157	17.157	4.360	4.360	-	-	143.506
10	2023	17301,96429				55.286		82.317	35.729	35.729		45.116		3.760	-	-	222.208
11	2024	18089,5				61.752		89.906	38.071	38.071		46.072		3.660	-	-	239.462
12	2025	18705,64286				68.217		97.496	40.414	40.414		47.260		3.560	-	-	256.946
13	2026	19150,39286				74.682		105.085	42.757	42.757		48.650		3.460	-	-	274.634
14	2027	19423,75				81.147		112.674	45.100	45.100		50.220		3.360	-	-	292.501
15	2028	19525,71429				87.612		120.263	47.443	47.443		51.948		3.260	-	-	310.527
16	2029					94.077		127.853	49.786	49.786		53.816		3.160	-	-	328.692
17	2030					100.543		135.442	52.129	52.129		54.738		3.060	-	-	345.911
18	2031					107.008		143.031	54.471	54.471		55.727		2.960	-	-	363.197
19	2032					113.473		150.620	56.814	56.814		56.776		2.860	-	-	380.543
20	2033					119.938		158.209	59.157	59.157		57.882		2.760	-	-	397.946

DADOS DO EQUIPAMENTO

NOME	FE402
ANO DE AQUISIÇÃO:	2014
DATA DA ENTRADA EM OPERAÇÃO	05.08.2014
HORAS TRABALHADAS ACUM:	13.911
HORAS DE OPERAÇÃO ANUAL :	2.320
HORAS POR DIA	12

PROJEÇÃO DE HORAS

ANOS	REALIZADO	FORCAST	ACUMULADO
1	2.705	2.705	2.705
2	2.124	2.124	4.829
3	1.571	1.571	6.400
4	2.054	2.054	8.454
5	2.270	2.270	10.724
6	2.696	2.696	13.420
7	491	491	13.911
8		1.302	15.213
9		1.130	16.343
10		959	17.302

RESULTADOS FINAIS

Vida Econômica (Anos) **9** ok

Menor CAE **R\$ 308.865** ok

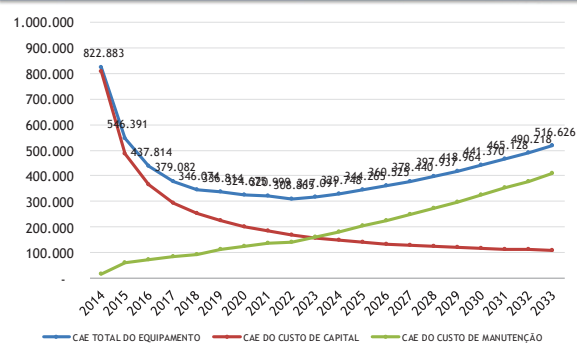
Vida Econômica (horas) **JANELA DE TROCA**

Limite Inferior (horas) **15.213**

Limite Superior (horas) **17.302**

Média (horas) **16.257**

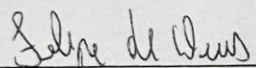
Horímetro
recomendado
para início do
processo de
troca

GRÁFICO DO CAE DO EQUIPAMENTO

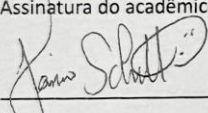
SOLICITAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA ACADÊMICO-CIENTÍFICA

Através do presente instrumento, solicitamos do Gestor do Funcionário Felipe de Deus, autorização para realização da pesquisa integrante da tese de mestrado profissional do acadêmico Felipe de Deus, orientado pelo Profº Thiago Henrique Moreira Goes, tendo como título preliminar "Aplicação da metodologia de ciclo de vida de equipamentos móveis em uma indústria de mineração brasileira".

A presente atividade é requisito para a conclusão do curso de mestrado profissional em economia, da Universidade Federal do Paraná, UFPR. As informações aqui prestadas não serão divulgadas sem a autorização final da Instituição campo de pesquisa.



Assinatura do acadêmico



Assinatura do gestor